Public Safety and Emergency Preparedness Canada
Critical Infrastructure Protection and Emergency Preparedness

Sécurité publique et Protection civile Canada
Protection des infrastructures essentielles et Protection civile

AUTOMATISATION DE LA PLANIFICATION DES MESURES D'URGENCE POUR LES MUNICIPALITÉS À RISQUE D'INONDATION

Remerciements

Cette publication a été préparée pour :

Sécurité publique et
Protection civile Canada

Immeuble Jackson, 2e étage
122, rue Bank
Ottawa, ON K1A 0W6
Tél : (613) 944-4875
Sans frais : 1-800-830-3118
Téléc : (613) 998-9589
Email : communications@bpiepc-ocipep.gc.ca
Internet : www.bpiepc-ocipep.gc.ca

Auteurs :

Dr. Benoît Robert, ing., Ph.D.
Dr. Jean Rousselle, ing., Ph.D.
Dr. Claude Marche, ing., Ph.D.

Département des génies civil, géologique et des mines
École Polytechnique de Montréal

Ce document s'inspire d'un travail financé par la Direction de la recherche et du développement (DRD) du Bureau de la protection des infrastructures essentielles et de la protection civile (BPIEPC), en vertu du contrat portant le numéro de référence 2000D011. Le BPIEPC fait maintenant partie de Sécurité publique et Protection civile Canada (SPPCC). Les opinions, constations et conclusions ou recommandations exprimées dans le présent document sont celles de l'auteur et ne correspondent pas nécessairement aux points de vue de Sécurité publique et Protection civile Canada.

© SA MAJESTÉ LA REINE DU CHEF DU CANADA (2001)
Catalogue No.: D82-77/2003F-IN
ISBN: 0-662-88925-8

Microsoft et Excel sont des marques de commerces ou des marques de commerces déposées de Microsoft Corporation.

Tous les autres produits ou noms d'entreprises cités dans ce rapport sont probablement des marques de commerces ou des marques de commerces déposées de leurs entreprises.

Résumé

Ce projet s'intègre à un effort continu de mise en application des méthodes actuelles d'étude du risque d'inondation pour pallier les problèmes et besoins précis des municipalités en matière de planification des mesures d'urgences en cas de grandes inondations. Les grandes inondations deviennent de plus en plus fréquentes à l'échelle planétaire, tel que constaté par les événements récents survenus au Canada (particulièrement les inondations du Saguenay et de Red River), en France et en Angleterre. Les municipalités menacées par cette augmentation des risques attribuables aux grandes inondations feraient mieux de se préparer à réagir à de telles situations en planifiant adéquatement leurs mesures pour leur faire face et la gestion globale de ces crises.

Différentes méthodes d'évaluation des risques et des incidences des inondations existent à l'heure actuelle. Les outils automatisés qui permettent de mettre en oeuvre ces méthodes, permettent également d'estimer les dommages matériels aux propriétés inondées ainsi que le nombre de personnes touchées par une inondation. Un de ces outils s'appelle DOMINO. Il résulte d'une collaboration entre Hydro-Québec et l'École Polytechnique. Il a été conçu il y a plusieurs années et il est maintenant utilisé dans plusieurs études du risque d'inondation d'origine naturelle et de la possibilité de bris de barrage. L'expérience acquise pendant la conduite de ces études a révélé que certains renseignements essentiels à l'élaboration de plans d'urgence par les municipalités touchées n'étaient pas extraits, calculés ou interprétés par les outils présentement disponibles.

Le travail décrit dans le présent rapport vise à corriger cette lacune par la conception d'un outil opérationnel d'évaluation des incidences d'une inondation en se fondant sur les besoins des municipalités en matière de sécurité publique. L'approche globale utilisée a été de regrouper l'expertise technique en matière de simulation hydraulique et cartographique avec l'expertise en matière de sécurité publique.

La première étape du travail a consisté à concevoir un outil automatisé pour tracer automatiquement les courbes d'incidence nécessaires à l'évaluation des conditions extrêmes plausibles d'inondation. Cet outil est fondé sur des méthodes d'analyse hydraulique et facilite l'achèvement d'études pratiques et opérationnelles des incidences d'inondation. La deuxième étape du travail, la plus théorique, exigeait de formuler des notions nécessaires à l'interprétation automatique de ces courbes d'incidence. Pour mettre en pratique le fruit de ce travail, il faudrait créer un ensemble de courbes d'incidence pour une municipalité donnée et appliquer les notions d'interprétation au moyen d'essais. Il serait alors possible de modifier ces notions afin de les intégrer à un véritable outil d'aide à la décision utilisé pour l'élaboration de plans municipaux d'urgence visant à se prémunir contre les risques d'inondation.

Table des matières

Remerciements ii

Résumé iv

1.0 Développement d'un outil opérationnel 1

1.1 Introduction 1
1.2 Description du logiciel DOMINO 2
1.3 Courbes de conséquences 6
1.3.1 Courbes de conséquences de base 6
1.3.2 Utilisations possibles des courbes de conséquences de base 10
1.4 Étude de conséquences 11
1.4.1 Analyse hydraulique 12
1.4.2 Segmentation du territoire 12
1.5 CONSEQ: un outil de création automatique de courbes de conséquences 14

2.0 Travaux théoriques bases méthodologiques d'interprétation automatiques des courbes de conséquences 15

2.1 Introduction 15
2.2 Évaluation du degré d'exposition face à une inondation 15
2.2.1 Population 16
2.2.2 Gestion de la crise 17
2.2.3 Réseaux de support à la vie 18
2.2.4 Infrastructures de transport 19
2.2.5 Conséquences environnementales 19
2.2.6 Évaluation globale 20
2.2.7 Détermination et utilisation du degré d'exposition 20
2.3 Génération élargie de courbes de conséquence 21
2.4 Aide à l'élaboration du plan d'urgence 22
2.4.1 Fiches inondation 23
2.4.2 Courbes de défaillance 25

3.0 Conclusion 27

References 28

Annexe A – Exemple d'un fichier de résultats DOMINO A-1

Annexe B – Exemples de courbes de conséquences provenant de CONSEQ B-1

Annexe C – Exemples de courbes de conséquences avec des degrés d'exposition C-1

Annexe D – Description des codes d'évaluation foncière (Québec, 1999) D-1

Annexe E – Fiches Inondation E-1

Annexe F – Exemples de courbes de défaillance F-1

1.0 Développement d'un outil opérationnel

1.1 Introduction

La première partie des travaux entrepris dans cette étude vise l'obtention d'un résultat concret avec le développement d'un outil opérationnel d'évaluation des conséquences d'inondation axé sur les besoins en sécurité civile des municipalités. À partir de fichiers de résultats issus de logiciels de calcul des dommages d'inondation, cet outil informatique extrait des informations pertinentes pour les besoins de la planification des mesures d'urgence face à une inondation exceptionnelle dans une municipalité. Ces informations prennent la forme de courbes ou d'abaques qui représentent les éléments sensibles et essentiels, touchés par une inondation, pour une municipalité, en fonction des niveaux d'eau. Elles doivent être structurées et présentées sous forme de graphiques ou courbes de conséquences qui synthétisent l'ensemble des informations pertinentes et identifient les points sensibles d'un point de vue planification, gestion et retour à la normale.

Il existe plusieurs outils qui évaluent les dommages aux bâtiments, mais nous avons retenu l'outil développé par notre partenaire, Hydro-Québec, en collaboration avec l'École Polytechnique, le logiciel DOMINO. Nos travaux utilisent le standard des fichiers de sortie des résultats de type DOMINO, mais ils pourront ultérieurement être alimentés sous ce standard par n'importe quel système d'évaluation des dommages d'inondation. Ce logiciel sera donc présenté afin de comprendre la logique numérique sous-jacente à l'élaboration des courbes de conséquences.

Pour automatiser la création des courbes de conséquences, il est nécessaire de bien évaluer les besoins réels des intervenants en mesures d'urgence. De plus, il est nécessaire de développer un outil qui répond aux besoins de base ou essentiels, puis d'évaluer le succès de son implantation dans les mécanismes d'élaboration de plans d'urgence avant de créer un outil de grande envergure, nécessitant des ressources beaucoup plus importantes. Ainsi, avec notre partenaire, le Centre de Sécurité Civile de la Communauté Urbaine de Montréal, nous avons établi les besoins de base pour élaborer un plan d'urgence inondation. Il faut évidemment tenir compte des contraintes fournies par la nature des informations contenues dans les fichiers de résultats de type DOMINO. Ainsi les courbes de conséquences doivent être établies à partir d'informations issues des codes d'évaluation foncière combinées à l'évaluation des dommages aux bâtiments et contenus naturellement calculés par DOMINO. Des informations sur les personnes potentiellement touchées par les inondations sont disponibles. Nous présentons donc le résultat de ces travaux qui ont permis d'établir sept courbes de conséquences de base.

L'utilisation de DOMINO demande d'établir initialement une zone d'inondation. Le principe directeur des courbes de conséquences est de fournir des informations pour un ensemble de niveaux d'eau pour permettre aux responsables en mesures d'urgence de se préparer à toutes les situations possibles. Nous devons donc établir une zone d'inondation maximale plausible puis de calculer des dommages pour tous les niveaux d'eau compris entre aucune inondation et cette zone maximale. De plus il faut tenir compte de contraintes géographiques, hydrauliques et administratives afin de rendre les résultats sur les conséquences les plus cohérents possibles. L'ensemble de ces travaux de caractérisation initiale consiste en une étude de conséquences. Elle sera donc exposée en détail afin de bien comprendre les mécanismes d'obtention des fichiers de résultats de type DOMINO.

Enfin, l'outil informatique développé est présenté globalement. Des exemples de résultats produits sont donnés ainsi que le manuel d'usager.

1.2 Description du logiciel DOMINO

Le logiciel DOMINO (DOMmages INOndation) est entièrement dédié à l'estimation des dommages associés à des inondations. Il intègre une méthode automatisée développée par les chercheurs de l'École Polytechnique de Montréal pour Hydro-Québec (SOBEK 1998, Gagnon 1998).

Ce logiciel permet de délimiter un site géographique potentiellement soumis à une inondation, dans les zones bordant les cours d'eau et les retenues, et de constituer un modèle numérique du terrain naturel de ce site à partir de données sur le relief (cartographie numérique commerciale ou digitalisée). Il reçoit et interprète les niveaux d'eau locaux instantanés calculés à partir de modèles numériques d'écoulement, tels FLDWAV (Fread D.L. et Lewis J.M. 1998) et SERUM (Marche 1993), afin de fournir les limites d'inondation propres à chaque scénario de rupture potentielle. Il permet ainsi de constituer un modèle des surfaces d'eau et d'établir l'intersection avec le terrain naturel qui représente les limites d'inondation.

Les rôles d'évaluation foncière des municipalités situées le long des cours d'eau sont intégrés au modèle numérique du terrain naturel. Dès lors la position des bâtiments est connue. La connaissance des limites d'inondation sur le terrain naturel permet d'identifier les bâtiments situés à l'intérieur de la zone d'inondation, d'évaluer la valeur des bâtiments et la valeur du contenu de ces bâtiments et d'estimer le nombre de personnes vivant dans ces derniers. Finalement ces analyses permettent d'établir, à l'intérieur d'une zone inondée, le nombre de personnes potentiellement touchées, le nombre et la valeur des propriétés inondées, les biens touchés et les dommages engendrés sur les infrastructures et les aménagements locaux.

Les résultats sont exprimés graphiquement tout d'abord en superposant à la cartographie de la zone inondée la position des bâtiments et des infrastructures, mais aussi numériquement sous forme de tableaux synthèse des dommages économiques, du nombre de propriétés et de personnes touchées. Au terme de ces analyses, il est possible de connaître les conséquences de rupture en terme de nombre de personnes touchées, de dommages aux biens de la collectivité et aux aménagements, détaillées pour chaque scénario considéré.

DOMINO exécute les calculs en procédant selon les étapes suivantes :

- la création d'un modèle numérique de terrain;
- la création de la surface d'eau de référence;
- la création des surfaces d'eau relatives à chaque scénario d'inondation;
- la définition de la zone inondée, entre l'intersection de la surface d'eau de référence et celle du terrain et l'intersection de la surface d'eau d'inondation et celle du terrain;
- le positionnement des bâtiments et la comptabilisation de ceux situés dans la zone d'inondation;

- le cumul, pour tous les bâtiments, des dommages aux bâtiments et à leur contenu et des personnes à risque (le contenu d'un bâtiment correspond aux composantes internes du bâtiment et au mobilier);
- écriture des résultats globaux dans un fichier de format Microsoft® Excel.

L'annexe A présente, en guise d'exemple, une partie d'un fichier de résultat de DOMINO. L'outil développé dans le cadre de ce projet doit utiliser ces informations. Nous explicitons donc le contenu de ce type de fichier ci-dessous.

Région	Nom de la région à l'étude
Site	Nom du site à l'étude
Rivière	Nom de la rivière ou du plan d'eau à l'étude
Temps d'analyse	Durée du traitement informatique
Variante d'analyse	Description du nom ou numéro du scénario à l'étude
Temps de référence	Durée du traitement de la variante de référence
Variante de référence	Description du nom ou du numéro de la variante à l'étude
Régime	Caractérisation du régime d'écoulement étudié
Impact sur les occupants	Identification du nombre total de personnes potentiellement touchées
Impact aux bâtiments	Identification de la valeur et du nombre totals de bâtiments touché
Impact au contenu des bâtiments	Identification de la valeur totale du contenu des bâtiments touchés
Municipalité	Nom la municipalité
Code munic.	Code de la municipalité
Matricule	Matricule du bâtiment, utilisé pour identifier l'unité d'évaluation; il sert à situer précisément un bâtiment sur une carte topographique
Code bâtiment	Paramètre qui permet d'identifier un bâtiment spécifique; en général égal à 0
Adresse civique	Adresse de l'élément
Code d'utilisation	Code extrait du rôle d'évaluation foncière. Ce code permet de connaître la nature et le type du bâtiment touché.
Nbr étages	Nombre d'étages du bâtiment
Easting / Northing	Information qui permettent de localiser précisément le centroide du terrain, en fonction du système géographique utilisé
Élévation terrain	Élévation du terrain par rapport au niveau de la mer
Nombre occupants	Possibilité de donner le nombre d'occupants; si égal à 0, la loi de 2,2 personnes par bâtiment est utilisée
Valeur bâtiment	Valeur du bâtiment utilisée pour l'évaluation municipale (ce n'est pas la valeur marchande)
Valeur terrain	Valeur du terrain utilisée pour l'évaluation municipale (ce n'est pas la valeur marchande)
Chaînage bâtiment	Position du bâtiment par rapport au cours d'eau; valeur calculée par DOMINO

Rive inondée	Position du bâtiment par rapport au cours d'eau (rive droite ou gauche, par rapport au sens de l'écoulement)
Profond. écoulement	Hauteur du niveau d'eau au centre de chaque terrain, pour le scénario à l'étude
Vitesse écoulement	Si connue, vitesse d'écoulement au centre de chaque terrain, pour le scénario à l'étude
F. pondér. occupants / bâtiments / contenu	Facteur de pondération pour l'évaluation des pertes de vie potentielles et des dommages sur les bâtiments et le contenu. Ces facteurs seront décrits ci-dessous
Nbr occ. potentiellement affectés	Le nombre de personnes potentiellement affectées par l'inondation. La norme utilisée est de 2,2 personnes par habitation. Cette valeur est multipliée par le facteur de pondération occupants
Dommages bâtiments	Les dommages aux bâtiments correspondent à la valeur du bâtiment multipliée par le facteur de pondération bâtiment
Dommages contenu	Les dommages aux contenus correspondent à la valeur du bâtiment multipliée par le facteur de pondération contenu

D'autre part, le logiciel DOMINO synthétise les résultats du tableau obtenus pour faire apparaître les données suivantes sous l'item "Total des dommages" :

- nombre de personnes potentiellement touchées par l'inondation;
- perte monétaire sur les bâtiments et nombre de bâtiments touchés;
- perte monétaire sur le contenu des bâtiments.

Les facteurs de pondération des dommages utilisés dans DOMINO proviennent principalement de l'ASCE (1988). Le logiciel DOMINO ne tient compte que des dommages aux bâtiments, à leur contenu et des pertes de vie potentielles. Les conséquences sont estimées uniquement en fonction des profondeurs et des vitesses d'écoulement, si connues.

Pertes aux bâtiments

Les pertes aux bâtiments sont évaluées en pourcentage du montant de leur évaluation municipale. L'écoulement est supposé en eau libre, c'est-à-dire qu'il n'y a ni glace, ni débris ou de bois flottant. Le facteur de pondération multipliant le montant de l'évaluation est le plus élevé des deux facteurs F1 et F2 suivants :

Facteur F1, pondération en fonction du produit de la profondeur et de la vitesse :

profondeur * vitesse $< 1{,}86\ m^2/s$ F1 = 0
profondeur * vitesse $\geq 1{,}86\ m^2/s$ F1 = 1,25
où : la profondeur correspond à la hauteur d'eau au dessus du terrain naturel la vitesse est évaluée au centre de l'élément

Facteur F2, pondération en fonction de la profondeur :

1,22 < profondeur ≤ 1,83 m F2 = 0,20
1,83 < profondeur ≤ 2,44 m F2 = 0,25
2,44 < profondeur ≤ 3,05 m F2 = 0,50
3,05 < profondeur ≤ 3,66 m F2 = 0,80
profondeur > 3,66 m F2 = 1,25 (La valeur marchande est considérée comme étant de 1,25 fois le montant de l'évaluation)
où : la profondeur correspond à la hauteur d'eau au dessus du terrain naturel

Pertes au contenu

Les pertes au contenu sont évaluées en pourcentage du montant de leur évaluation municipale :

Facteur F3 multipliant le montant de l'évaluation :

profondeur < 2 m F3 = 0,1
profondeur ≥ 2 m F3 = 0,4
où : la profondeur correspond à la hauteur d'eau au dessus du terrain naturel

Perte de vie potentielles

Les pertes de vie potentielles sont évaluées en fonction du nombre moyen d'habitants par maison. Ce nombre est fixé à 2,20, ce qui correspond à la moyenne québécoise du taux d'occupation. Cette notion découle des bris de barrage et non des inondations naturelles. Pour connaître les pertes de vie potentielles il faut tenir compte des délais d'alerte, paramètre qui n'est pas connu. Toutefois cette valeur indique le nombre de personnes touchées par l'inondation.

Le facteur de pondération F4 multipliant le nombre d'habitants par maison est déterminé en choisissant le plus élevé, déterminé comme suit :

profondeur < 1 m F4 = 0
profondeur ≥ 1 m F4 = 1
produit profondeur * vitesse < 0,65 m^2/s F4 = 0
produit profondeur * vitesse ≥ 0,65 m^2/s F4 = 1
où : la profondeur correspond à la hauteur d'eau au dessus du terrain naturel la vitesse est évaluée au centre de l'élément

Ces informations, en tout ou en partie, seront utilisées pour établir les courbes de conséquences. Elles sont ajustables en tout temps dans DOMINO.

1.3 Courbes de conséquences

Le logiciel DOMINO a été initialement conçu dans un but de fournir une évaluation des dommages reliés à un scénario d'écoulement dans le cadre de l'évaluation d'une crue naturelle ou d'une étude de risque de rupture de barrage. Les utilisations de l'outil informatique que nous voulons développer dépasse ce cadre. Les résultats doivent servir à l'ensemble des phases de la planification des mesures d'urgence: la communication des risques, la planification des mesures d'urgence, la gestion de la situation d'urgence, et les activités de retour à la normale.

Une volonté de fournir des résultats facilement utilisables et interprétables par des personnes qui ne sont pas des experts en hydraulique a guidé nos travaux. Ainsi nous voulons que les résultats soient présentés sous forme de courbes ou d'abaques concrètes et directement utilisables. Ils doivent être visuels, diversifiés, adaptés au travail d'un gestionnaire en mesures d'urgence. Dès lors, des résultats déjà interprétés représentent des outils sur mesure et à usage multi-scénarios.

À l'aide des responsables en mesure d'urgence partenaires au projet, nous avons identifié les informations minimales qui doivent et qui peuvent être extraites d'un fichier de type DOMINO. L'outil ainsi créé permettra, à l'usage, d'être validé dans des municipalités. La seconde partie du projet touche les principes méthodologiques d'interprétation automatique des courbes de conséquences qui pourront, alors, être appliqués ultérieurement.

Dans les sections qui suivent, nous présentons les courbes de conséquences de base que nous devrons créer automatiquement avec l'outil informatique avec une justification de leurs utilisations dans les activités de planification des mesures d'urgence.

1.3.1 Courbes de conséquences de base

Les besoins des gestionnaires et planificateurs des mesures d'urgence sont forts variés et multiples. La démarche entreprise pour automatiser la création de courbes de conséquences est donc vaste et ne pourra être menée à bien que dans un processus par étape. La première consiste à identifier les besoins essentiels, pour les intervenants en mesure d'urgence, qui sont compatibles avec les informations contenues dans les fichiers de type DOMINO.

Les courbes ou abaques doivent être présentées sous une forme visuelle, diversifiée et adaptée aux besoins des responsables des mesures d'urgence, afin d'assurer une image plus exacte et précise d'une situation en cours ou à venir en intégrant des enchaînements potentiels de problèmes. Elles permettent donc de visualiser et d'évaluer l'ampleur d'une situation de crise résultant d'une inondation en cours ou prévue.

Les informations que l'on peut extraire des fichiers de type DOMINO peuvent porter sur :

- les dommages aux bâtiments et leur contenu;
- les personnes potentiellement touchées; et
- l'utilisation des bâtiments, via les codes d'utilisation définis dans les rôles d'évaluation foncière.

À partir de ces informations, avec nos partenaires, nous avons identifié les besoins d'information sur les points suivants :

- l'occupation des sols inondés
- les éléments sensibles touchés par l'inondation
- les valeurs des pertes sur les bâtiments et contenus
- la population touchée

L'ensemble de ces informations est disponible en utilisant les codes d'évaluation foncière adéquats (Québec, 1999). Les courbes de conséquences relatives à ces points diffèrent en terme de présentation et de contenu, elles sont donc explicitées ci-dessous en terme de type de graphique (diagramme à barre ou courbe), de nombre et la nature des informations contenues dans ces graphiques et des codes d'évaluation foncière utilisés pour chaque information.

Un exemple de ces graphiques sera fourni lors de la présentation de l'outil informatique, à l'annexe B

Occupation des sols :

- Type de graphique : diagramme à barre
- Abscisse du graphique : cote du niveau d'eau (m)
- Ordonnée du graphique : nombre d'éléments
- Nombre d'informations : 5

Liste des informations et des codes :

- Commerce de détail (code 5211 à 5270, 5310 à 5399, 5411 à 5499, 5511 à 5599, 5610 à 5699, 5711 à 5740) et centres commerciaux (code 5001, 5002, 5003, 5004, 5005)
- Équipements collectifs et services d'utilité publique (code 4811 à 4890 et 4921 à 4990)
- Édifice à bureaux (code 6000)
- Industries légères et lourdes (code 2011 à 2999 et 3011 à 3999)
- Parcs (code 7610 et 7620), réserves naturelles (code 9211 à 9219), golfs (code 7392, 7411, 7412), aires vacantes (code 7221 à 7229, 9100, 9220, 9900)

Éléments sensibles de gestion de crise :

- Type de graphique : diagramme à barre
- Abscisse du graphique : cote du niveau d'eau (m)
- Ordonnée du graphique : nombre d'éléments
- Nombre d'informations : 3

Liste des informations et des codes :

- Hôtel de ville (code 6710)
- Poste de police (code 6721)
- Caserne de pompiers (code 6722)

Éléments sensibles de support à la vie :

- Type de graphique : diagramme à barre
- Abscisse du graphique : cote du niveau d'eau (m)
- Ordonnée du graphique : nombre d'éléments
- Nombre d'informations : 3

Liste des informations et des codes :

- Services de santé: Hôpital (code 6513), centre local de services communautaires (code 6532), autres institutions (code 6542, 6531, 6539)
- Usine de filtration (eau potable) (code 4832)
- Usine de traitement (eaux usées) (code 4841)

Éléments sensibles divers :

- Type de graphique : diagramme à barre
- Abscisse du graphique : cote du niveau d'eau (m)
- Ordonnée du graphique : nombre d'éléments
- Nombre d'informations : 4

Liste des informations et des codes:

- École (code 6811 à 6814, 6821 à 6823)
- Garderie (code 6541, 6543)
- Église (code 6911, 6919)
- Centre d'hébergement (code 6531 et 6539)

Éléments sensibles totaux :

- Type de graphique : diagramme à barre
- Abscisse du graphique : cote du niveau d'eau (m)
- Ordonnée du graphique : nombre d'éléments
- Nombre d'informations : 3

Liste des informations :

- Catégorie 1 : somme des éléments sensibles de gestion de crise
- Catégorie 2 : somme des éléments sensibles de support à la vie
- Catégorie 3 : somme des éléments sensibles divers

Valeurs des pertes sur les bâtiments et contenus :

- Type de graphique : courbe
- Abscisse du graphique : cote du niveau d'eau (m)
- Ordonnée du graphique : valeurs ($)

Sur ce graphique, il y a 3 courbes :

- Pertes sur l'ensemble des bâtiments inondés (tous les codes confondus)
- Pertes sur les bâtiments résidentiels inondés (code 1000)
- Pertes sur le contenu de l'ensemble des bâtiments inondés (tous les codes confondus)

Calcul des courbes :

- pour chaque élévation du niveau d'eau (Z) : Profondeur = Z - Élévation terrain
- rechercher les unités avec le code adéquat dont l'élévation du terrain ≤ Z
- pour les bâtiments:
    - Perte = Valeur bâtiment * F1 où F1 est un facteur de pondération
    - 1,22 < profondeur ≤ 1,83 m F1 = 0,20
    - 1,83 < profondeur ≤ 2,44 m F1 = 0,25
    - 2,44 < profondeur ≤ 3,05 m F1 = 0,50
    - 3,05 < profondeur ≤ 3,66 m F1 = 0,80
    - profondeur > 3,66 m F1 = 1,25
    - Ces pertes sont comptabilisées de manière cumulative
- Pour le contenu:
    - Perte = valeur bâtiment * F2 où F2 est un facteur de pondération
    - Profondeur < 2 m F2 = 0,1
    - Profondeur ≥ 2 m F2 = 0,4
    - Ces pertes sont comptabilisées de manière cumulative

Population touchée :

- Type de graphique : courbe
- Abscisse du graphique : cote du niveau d'eau (m)
- Ordonnée du graphique : nombre de personnes
- Sur ce graphique, il y a 1 courbe :
    - Personnes dans l'ensemble des bâtiments inondés (tous les codes confondus)

Calcul de la courbe :

- pour chaque élément dont l'élévation du terrain ≤ élévation du niveau d'eau
- prendre la valeur du nombre d'occupants affectés
- Valeur cumulative du nombre d'occupants affectés

Ces graphiques ont plusieurs utilités, dans le domaine des mesures d'urgence. Elles sont décrites ci-dessous.

1.3.2 Utilisations possibles des courbes de conséquences de base

Les courbes de conséquences de base peuvent servir dans la communication du risque, la prévention, la préparation et la planification des plans et des mesures d'urgence, l'élaboration de mesures d'atténuation et dans les activités de retour à la normale. Ces résultats démontrent l'importance et l'utilité des études de conséquences pour une municipalité.

1.3.2.1 Communication des risques

La communication des risques est un processus qui doit impliquer l'ensemble des intervenants en mesure d'urgence, afin d'établir des plans d'urgence conjoints, des mesures d'atténuation, des mécanismes d'alerte, etc. La diversité des résultats issus des courbes de conséquence permet de cibler les intervenants mais aussi d'adapter et d'orienter le contenu de la communication. Plus spécifiquement les diagrammes présentant les éléments sensibles permettent d'évaluer les divers services municipaux qui devront être intégrés au processus de la planification des mesures d'urgence. Les courbes sur les bâtiments, la population touchée et l'occupation des sols vont plutôt permettre à cette étape de sensibiliser les élus municipaux au risque d'inondation.

1.3.2.2 Prévention, préparation et planification des mesures d'urgence

L'ensemble des résultats issus des courbes de conséquences permet de mieux comprendre et d'assimiler l'état d'une situation résultant d'une inondation et de s'y préparer.

Les plans d'urgence peuvent réellement tenir compte des problèmes potentiels qui peuvent survenir, intégrer l'inondation des éléments sensibles essentiels (Hôtel de ville, poste de police et caserne de pompiers) et développer des ententes inter-municipales et inter-organisationnelles pour y faire face. Les éléments reliés à la santé sont importants d'une part en terme d'évacuation car ils demandent une logistique particulière mais aussi, d'autre part, pour planifier le remplacement des services qu'ils offraient à la population.

Les usines de filtration pour les eaux potables et de traitement des eaux usées sont des éléments qui doivent être intégrés dans tout plan d'urgence municipal car ils représentent des réseaux de support à la vie essentiels pour la municipalité, voire d'autres municipalités qui peuvent ne pas être directement touchées par les inondations.

La courbe sur la population touchée permet de planifier l'ampleur des évacuations potentielles, de prévoir les ressources pour y faire face. Les éléments sensibles divers permettent également de prévoir des sites d'accueils hors de la zone inondée. Les écoles et garderies représentent, de plus, une problématique particulière en terme d'évacuation mais aussi de planification pour la réunification des familles.

Le graphique sur l'occupation des sols permet d'adapter les schémas d'aménagement et les plans d'urbanismes municipaux au risque d'inondation. Des mesures de mitigation peuvent, également, être prévues et planifiées de même que les effets domino qui peuvent découler de l'inondation de certaines industries. Enfin ce graphique permet d'évaluer la désorganisation sociale potentielle résultant de l'inondation de commerces et de centres commerciaux.

Enfin, ces résultats sont particulièrement intéressants pour la planification et la conduite d'exercices touchant les inondations, qui doivent faire partie intégrante de tout plan d'urgence. À

l'aide des courbes de conséquences, il est possible de définir des scénarios d'étude précis et d'évaluer si l'ensemble des intervenants évaluent adéquatement les situations présentées, mais aussi de faire évoluer les situations en fonction du niveau de réponse des participants.

1.3.2.3 Atténuation et gestion de la situation d'urgence

Lors de la situation d'urgence résultant de l'inondation, ces résultats permettent de visualiser l'ampleur de la crise et de prévoir son évolution. Les situations d'urgence en cascade (effet domino) sont aussi mieux prévisibles. Dès lors, la réponse aux sinistrés est mieux préparée et adaptée, tandis que la gestion des ressources sera plus optimale. En résumé, ces graphiques permettent aux intervenants en mesures d'urgence d'être plus pro-actifs face à une inondation exceptionnelle.

Durant la situation d'urgence, ces abaques assurent une meilleure communication relative à la situation présente et son évolution. Cette communication peut être orientée vers les citoyens, les médias ou les autres organisations.

1.3.2.4 Retour à la normale

Les courbes de conséquences, en permettant d'évaluer l'évolution d'une situation d'urgence lors d'une inondation exceptionnelle, assurent aux responsables les connaissances nécessaires à la planification du retour à la normale en terme de ressources humaines et financières. En effet, la présence de l'eau oblige à prendre des actions spécifiques de vérification de la salubrité et de nettoyage avant le retour des personnes. Ces courbes permettent de planifier ces activités très tôt dans la crise et d'optimiser les ressources à mettre en œuvre.

1.4 Étude de conséquences

Une étude de conséquences, envisagée d'un point de vue de sécurité civile, consiste à établir, dans un premier temps, les impacts sur la population, les biens et l'ensemble des constructions dans les zones potentiellement inondées, puis d'évaluer la nature et l'ampleur de la situation d'urgence qui en résulte. Les résultats d'une telle étude consistent en des courbes de conséquences issues d'une étude hydraulique d'une inondation majeure et exceptionnelle mais plausible. L'utilisation de ces résultats permettra aux municipalités potentiellement touchées par de telles inondations de mieux se préparer et d'adapter leurs plans d'urgence à ces situations.

La méthodologie d'étude que nous avons développée est présentée globalement pour supporter la définition des courbes de conséquences de base qui devront être intégrées dans un plan d'urgence municipal. Cette méthodologie est appliquée aux inondations exceptionnelles, mais elle peut être adaptée à toute autre situation d'urgence.

La réalisation d'une telle étude nécessite d'effectuer, dans un premier temps, une analyse hydraulique des écoulements exceptionnels pour connaître les niveaux d'eau maximum plausibles qui peuvent être atteints. Dans un deuxième temps, le territoire doit être segmenté en fonction de critères d'uniformisation. Finalement, l'étude de conséquences proprement dite est réalisée. Ces étapes sont présentées de façon détaillée ci-dessous.

1.4.1 Analyse hydraulique

Le principe directeur d'une étude de conséquence d'inondation est de fournir des résultats utilisables quelque soit l'ampleur de l'inondation prévue. Elle est donc basée sur l'établissement de niveaux d'eau maximum mais plausibles afin de délimiter une étendue réaliste du territoire à couvrir. L'étude permet donc d'évaluer, non seulement les conséquences de l'inondation maximale mais, aussi, les conséquences pour des niveaux d'eau plus faibles. Dès lors, toute situation qui pourra survenir sera couverte par ces résultats. De plus, du point de vue de la préparation aux situations d'urgence, il est possible de se préparer au pire tout en établissant des gradations basées sur des niveaux d'eau critiques en termes de conséquences. Ces gradations reflètent alors l'accroissement de la sévérité des conséquences qui peuvent survenir. Par exemple, ces gradations pourraient correspondre aux cotes à partir desquelles un hôpital, un poste de police ou une caserne de pompiers est inondé.

Pour ce faire, des calculs d'écoulement sont réalisés en prenant en compte les hypothèses les plus sévères possibles sur les cours d'eau, soit la Crue Maximale Probable (CMP). Les ondes de rupture potentielles qui en résultent présentent les conditions maximales d'inondation qui peuvent potentiellement survenir. Normalement, aucune inondation majeure exceptionnelle ne devrait atteindre ou dépasser ces niveaux d'eau. Dès lors, les résultats produits seront directement utilisables en toutes circonstances. Les conséquences sont aussi évaluables pour toutes les cotes inférieures.

À partir de ces informations hydrauliques, la segmentation du territoire peut débuter puis l'étude des conséquences proprement dite.

1.4.2 Segmentation du territoire

Les résultats de l'étude sont principalement utilisables par les personnes responsables des mesures d'urgence des municipalités. Il faut donc tenir compte de la diversité de ces dernières tout en sachant que sur un territoire couvert par l'étude hydraulique, plusieurs municipalités peuvent être touchées. De même le comportement hydraulique des écoulements doit être considéré afin de donner des cotes d'inondation réalistes et adéquates à la hauteur des rives. En effet, il est important que les responsables connaissent la bonne cote de l'eau au niveau des infrastructures à l'étude. Il est donc impératif de correctement segmenter géographiquement le territoire. Les critères de segmentation utilisés sont donc :

- l'uniformité hydraulique
- l'uniformité géographique
- les limites des municipalités

Chacun de ces critères est explicité ci-dessous.

1.4.2.1 Critères d'uniformité hydraulique

La segmentation selon l'uniformité hydraulique est importante car elle permet d'avoir un comportement hydraulique uniforme pour une zone spécifique. La connaissance d'un niveau d'eau en un point de la zone permet de connaître ou d'évaluer les niveaux d'eau sur l'ensemble de la zone. Cette évaluation peut provenir d'une interprétation directe ou suite à une série de calculs hydrauliques de caractérisation des écoulements.

Une zone avec interprétation hydraulique directe correspond à un plan d'eau supposé horizontal, comme un lac. Dans un tel cas, certaines différences de niveau peuvent exister entre les points d'entrée des débits et les exutoires lors d'une forte onde de crue. L'erreur est négligeable si le plan d'eau a une grande superficie et un fort volume d'emmagasinnement.

Les autres cas correspondent à des zones bordées par une rivière où une interprétation est nécessaire, suite à une série de calculs hydrauliques. Dans une même zone, il faut garder un écoulement uniforme torrentiel ou fluvial. Pour ce faire, le calcul de la surface libre donne les informations adéquates. De plus, il faut évaluer les points de contrôle hydraulique naturels ou artificiels. Les contrôles hydrauliques les plus couramment rencontrés sont :

- naturels :
  - seuil, comme une barre rocheuse
  - fort rétrécissement de la section d'écoulement
  - forte pente d'écoulement, avec une zone de rapides
- artificiels :
  - barrage
  - seuil
  - pont
  - digue

Pour délimiter une zone d'uniformité hydraulique, il faut s'assurer que les points de contrôle hydraulique sont permanents, valables pour tout débit. Ils ne doivent pas être submergés avec la moindre augmentation des niveaux d'eau ou juste créer un ressaut hydraulique local qui ne modifie pas significativement les écoulements.

1.4.2.2 Critères d'uniformité géographique

La ségrégation du territoire en zones géographiquement uniformes permet d'uniformiser non seulement les impacts hydrauliques en terme de niveau d'eau et de vitesse d'écoulement, mais aussi la géologie du sol avec les risques de glissements de terrain qui peuvent survenir suite aux inondations. La délimitation des zones présentant une uniformité géographique ne peut s'effectuer qu'en analysant les cartes topographiques et des cartes géologiques. En l'absence de cartes, une analyse directe sur le terrain est nécessaire ou une consultation des responsables municipaux qui ont une parfaite connaissance du terrain.

Les critères à utiliser sont donc :

- uniformité de la pente du terrain : les zones doivent présenter des pentes du terrain naturel uniforme. Une variation de pente de plus de 20 % entraîne des variations

substantielles des conditions d'écoulement. Les zones bordées de falaises ou de talus importants doivent être étudiées séparément;

- uniformité géologique : les zones doivent présenter une uniformité géologique, en regard des risques de glissement de terrain ou de liquéfaction du sol. Les zones argileuses ou fortement sablonneuses doivent être étudiées séparément.

1.4.2.3 Critère de limite des municipalités

Afin de planifier adéquatement la réponse face à la situation d'urgence, les études de conséquences doivent tenir compte des délimitations juridiques des municipalités et des accords de coopération qui peuvent exister entre des municipalités. Les résultats présentés doivent donc tenir compte de ces disparités régionales.

1.5 CONSEQ: un outil de création automatique de courbes de conséquences

Un outil informatique a donc été développé afin de créer automatiquement les courbes de conséquences de base à partir de fichiers de type DOMINO. Il s'appelle CONSEQ en regard de son utilisation.

Il s'agit d'un programme développé dans Excel de Microsoft, afin de s'adapter au format des fichiers de résultats qu'il doit traiter. L'utilisateur définit le fichier qu'il veut traiter, choisit le nombre de points ou le pas de calcul des courbes et les courbes de conséquences sont tracées automatiquement. Ces résultats peuvent alors être sauvegardés ou imprimés. L'annexe B présente un exemple des courbes de conséquences ainsi calculées.

Ce programme a été testé sur un grand nombre de sites étudiés par notre équipe lors de projets antérieurs concernant des études de risque (annexe B). Une validation approfondie a été réalisée sur des sites situés dans la région de Montréal et sur des sites proches des aménagements hydroélectriques de Beauharnois sur le fleuve Saint-Laurent. Les résultats ne peuvent être présentés dans ce rapport car ils n'ont pas encore été communiqués formellement aux municipalités concernées.

Les travaux de validation ont permis de faire ressortir le gain de temps très appréciable (de près de 60 %) observé dans la création automatique de ces courbes comparativement à une exécution manuelle.

Les contacts avec les municipalités à qui les résultats préliminaires ont été présentés permettent de prévoir une bonne réception et utilisation de ces courbes de conséquence. Des études subséquentes devront être réalisées afin d'évaluer la réelle pénétration et utilisation de ces dernières.

L'outil CONSEQ et un fichier de résultat de type DOMINO sont disponibles en contactant BPIEPC.

2.0 Travaux théoriques bases méthodologiques d'interprétation automatiques des courbes de conséquences

2.1 Introduction

Les travaux précédents, présentés dans la partie I de ce rapport, ont permis de développer un outil informatique (CONSEQ) qui crée des courbes de conséquences regroupant les informations essentielles et de base pour établir un plan d'urgence face à une inondation dans une municipalité. Ces courbes de conséquences sont établies à partir d'un fichier de résultat de type DOMINO qui contient des informations extraites du rôle d'évaluation foncière d'une municipalité (Québec, 1999) soumise potentiellement à une inondation. Générées automatiquement, elles décrivent les dommages engendrés par ces inondations sous une forme graphique facile à interpréter.

Des travaux de recherche, menés conjointement avec notre partenaire du Centre de Sécurité Civile de la Communauté Urbaine de Montréal, ont permis d'identifier des avenues de développement complémentaires pour rendre l'outil informatique actuel encore plus performant dans l'établissement des plans d'urgence inondation. Ces travaux ont été entrepris avec l'objectif de définir les principes méthodologiques nécessaires au développement d'un véritable outil d'aide à la décision, conçu pour guider le responsable en sécurité civile dans sa démarche. Un tel outil comporterait trois étapes spécifiques. La première consiste à évaluer le degré d'exposition de la municipalité face au risque d'inondation. La seconde étape permet d'établir les courbes de conséquences adaptées au degré de sensibilisation et de préparation de la municipalité face à ce risque. Enfin, la troisième étape consiste à établir les modalités de création de courbes de défaillance et représente l'étape ultime de l'évaluation et de l'interprétation des conséquences avant une implantation dans un plan d'urgence efficace. Ces trois étapes sont décrites ci-après.

Il est à noter que ces travaux ont un caractère théorique c'est à dire qu'ils ne débouchent pas sur la modification effective de l'outil CONSEQ. Toutefois, ils gardent un aspect pragmatique visant le développement futur d'un réel outil d'aide à la décision en mesures d'urgence. Ainsi les courbes de conséquences modifiées et présentées à l'annexe C sont des exemples et n'ont pas été créées automatiquement.

2.2 Évaluation du degré d'exposition face à une inondation

L'inondation d'une municipalité représente une situation d'urgence, car il y aura toujours des personnes touchées qui devront être évacuées. Ce volet est automatiquement couvert avec l'outil actuel. Toutefois, pour les responsables en sécurité civile, il est important et primordial d'avoir une image globale de la situation. Cette image comprend évidemment le nombre de personnes touchées, mais aussi des éléments essentiels à la gestion de la crise, les réseaux de support à la vie, les infrastructures de transports et les conséquences environnementales potentielles importantes qui peuvent découler de l'inondation. Le degré d'exposition de la municipalité sera évalué à partir de l'analyse de cette image.

Les informations extraites des fichiers de types DOMINO permettent d'établir une image assez complète de la situation. L'annexe D présente l'ensemble des éléments d'une municipalité qui

peuvent être identifiés à partir des codes contenus dans le rôle d'évaluation foncière (Québec, 1999). Toutefois, seules les informations essentielles sont utilisées à cette étape.

La notion de degré d'exposition doit être définie préalablement, afin d'avoir une échelle constante et uniforme. Une syntaxe simple et efficace a été définie avec les intervenants en mesures d'urgence. Elle pourra être raffinée avec le temps et l'utilisation, mais elle a l'avantage de poser les bases d'une telle approche. Quatre degrés sont établis : (1) mineur, (2) sérieux, (3) sévère et (4) très sévère. Leur signification est :

- degré d'exposition mineur : peu ou pas d'éléments sont touchés par l'inondation, comme par exemple une faible partie de la population ou lorsqu'aucun élément sensible n'est inondé;
- degré d'exposition sérieux : plusieurs éléments sont touchés par l'inondation, comme par exemple une partie importante de la population ou lorsque certains éléments sensibles sont inondés;
- degré d'exposition sévère : un grand nombre d'éléments sont touchés par l'inondation, comme par exemple une partie très importante de la population ou lorsqu'un grand nombre d'éléments sensibles sont inondés;
- degré d'exposition très sévère : la très grand nombre d'éléments sont touchés, comme pa exemple la majeure partie de la population ou lorsque la majeure partie des éléments sensibles sont inondés.

Ce degré d'exposition sera évalué pour chacun des éléments de l'image de la situation tel qu'exposé ci-dessous avec sa représentation éventuelle dans un outil informatique (annexe C).

2.2.1 Population

Plus la population d'une municipalité est touchée par une remontée des eaux, plus la situation, en terme de sécurité civile, devient complexe à gérer. Les règles suivantes peuvent être utilisées. Elles ont été déterminées par consensus avec divers intervenants en mesures d'urgence, et pourront être modifiées à l'usage.

- Si moins de 5 % de la population totale de la municipalité est touchée, le degré d'exposition est mineur.
- Si de 5 % à 20 % de la population totale de la municipalité est touchée, le degré d'exposition est sérieux.
- Si de 20 % à 50 % de la population totale de la municipalité est touchée, le degré d'exposition est sévère.
- Si plus de 50 % de la population totale de la municipalité est touchée, le degré d'exposition est très sévère.

Dans un outil informatique, les limites des degrés d'exposition sont calculées à partir de la population totale et placées sur le graphique des courbes de conséquences sur la population. Il est bien évident que toutes les limites ne sont pas obligatoirement atteintes dans toutes les municipalités.

Pour la gestion d'une crise appréhendée, en fonction du niveau d'eau prévu, la situation est immédiatement connue. En terme de planification des mesures d'urgence, les cotes qui définissent les degrés d'exposition sont identifiées clairement. Les mesures d'évacuation et d'hébergement des personnes peuvent alors être planifiées plus efficacement en terme de ressources matérielles et humaines.

La représentation graphique de ce concept est exposée dans la figure1 de l'annexe C. Le tableau 2.1 qui suit présente une synthèse des résultats obtenus sur une municipalité, tableau qui complète la figure 1.

Tableau 2.1 : Exemple de présentation du degré d'exposition de la population d'une municipalité face au risque d'inondation

Cote du niveau d'eau	Degré d'exposition	Pourcentage de la population touchée
de 20 m à 21 m	mineur	5 % ou moins
de 21 m à 23,50 m	sérieux	de 5 % à 20 %
de 23,50 m à 26,70 m	sévère	de 20 % à 50%
de 26,70 m à 28 m	très sévère	plus de 50 %

2.2.2 Gestion de la crise

Pour une municipalité, lors d'une crise, la perte de certains éléments de gestion de cette crise entraîne une situation plus complexe. L'annexe D présente ces éléments qui peuvent être identifiés à partir des codes d'évaluation foncière. Ils peuvent donc être évalués dans un fichier de type DOMINO. Le degré d'exposition d'une municipalité est directement fonction du nombre de ces éléments potentiellement touchés par une inondation. Ainsi, les règles d'évaluation de ce degré sont exprimées ci-dessous. Elles ont été déterminées par consensus avec divers intervenants en mesures d'urgence, et pourront être modifiées à l'usage.

- Si aucun élément n'est touché, le degré d'exposition est mineur.
- Si un seul élément est touché, le degré d'exposition est sérieux.
- Si au moins trois éléments sont touchés, le degré d'exposition est sévère.
- Si plus de trois éléments sont touchés, le degré d'exposition est très sévère.

Un tableau récapitulatif indique ce degré d'exposition en fonction de la cote du niveau d'eau. Le tableau suivant en présente un exemple. Il synthétise la représentation graphique de ce concept exposée à la figure 2 de l'annexe C.

Tableau 2.2 : Exemple de présentation du degré d'exposition des éléments de gestion de crise d'une municipalité face au risque d'inondation

Cote du niveau d'eau (m)	Degré d'exposition	Élément(s) de gestion de crise inondés (cumulatif)
20	mineur	
21	mineur	
22	sérieux	Poste de police
23	sérieux	
24	sérieux	
25	sévère	Caserne de pompiers (caserne X) Hôtel de ville
26	très sévère	Caserne de pompiers (caserne Y)
27	très sévère	
28	très sévère	

Pour la gestion d'une crise appréhendée, en fonction du niveau d'eau prévu, la situation est immédiatement connue. En terme de planification des mesures d'urgence, les cotes qui définissent les degrés d'exposition sont identifiées clairement. Les mesures préventives de relocalisation peuvent alors être planifiées plus efficacement et il est possible de prévoir les ressources matérielles et humaines nécessaires pour les mener à bien.

2.2.3 Réseaux de support à la vie

La logique, le mode de représentation et l'utilisation du degré d'exposition pour les réseaux de support à la vie sont identiques à ceux développés pour les éléments de gestion de crise décrits précédemment (figure 2 de l'annexe C et tableau 2.2), car ces informations seront colligées dans un diagramme à barres similaire. De même, l'annexe D présente les éléments relatifs à un réseau de support à la vie qui peuvent être identifiés à partir des codes d'évaluation foncière. Toutefois, les règles d'évaluation de ce degré d'exposition varient. Elles considèrent l'importance relative de ces réseaux, telle qu'établie avec les responsables municipaux. En effet, la perte d'une usine de filtration (eau potable) est plus dommageable, en terme de sécurité civile, que la perte d'une infrastructure électrique. Ces règles comprennent donc plusieurs volets. Elles ont été établies par consensus à l'aide des intervenants en mesures d'urgence et des experts techniques de l'École Polytechnique.

- Si aucun élément n'est touché, le degré d'exposition est mineur.
- Si plus d'un élément relatif à l'électricité, le gaz ou le pétrole est touché, le degré d'exposition est sérieux.
- Si une usine de filtration (eau potable) est touchée, le degré d'exposition est très sévère.
- Si une usine de traitement (eau usée) est touchée, le degré d'exposition est très sévère.
- Si, pour une même cote, deux degrés d'exposition peuvent être établis, le degré le plus sévère est conservé.

Pour les réseaux électriques, de gaz et de pétrole, les codes d'évaluation foncière ne permettent pas de raffiner les règles d'évaluation du degré d'exposition, car il n'y a aucune information sur la nature exacte de l'infrastructure touchée. Une validation précise de ces informations sur les sites à l'étude est donc primordiale. Les informations issues des rôles d'évaluation foncière doivent donc être considérées comme des indicateurs d'exposition.

2.2.4 Infrastructures de transport

La logique, le mode de représentation et l'utilisation du degré d'exposition pour les infrastructures de transport sont identiques à ceux développés pour les éléments de gestion de crise décrits précédemment (figure 2 de l'annexe C et tableau 2.2), car ces informations seront colligées dans un diagramme à barres similaire. De même, l'annexe D présente les éléments relatifs aux infrastructures de transport qui peuvent être identifiés à partir des codes d'évaluation foncière. Toutefois, les règles d'évaluation de ce degré d'exposition varient. Il est à noter que les codes d'évaluation foncière ne permettent pas de raffiner les règles d'évaluation du degré d'exposition car il n'y a aucune information sur la nature exacte de l'infrastructure touchée. Ces règles devront impérativement être raffinées en fonction de la spécificité du réseau de transport dans chaque municipalité qui devra être définie manuellement dans un tel outil informatique. Cependant un consensus a permis de poser les règles générales suivantes, avec l'aide des spécialistes en mesures d'urgence du Métro de Montréal.

- Si aucun élément n'est touché, le degré d'exposition est mineur.
- Si plus d'un élément relatif à la voie publique, au transport par véhicule moteur ou au transport maritime est touché, le degré d'exposition est sévère.
- Si une infrastructure relative aux chemins de fer, métro ou avion est touchée, le degré d'exposition est très sévère.
- Si, pour une même cote, deux degrés d'exposition peuvent être établis, le degré le plus sévère est conservé.

Ces règles sont basées sur le principe établissant que la désorganisation sociale résultante de l'inondation d'une voie ferrée, d'un métro ou d'un aéroport crée une situation de crise très sérieuse, même s'il n'y a pas de risque de pertes de vie. Une validation précise de ces informations sur les sites à l'étude est donc primordiale. Les informations issues des rôles d'évaluation foncière doivent donc être considérées comme des indicateurs d'exposition.

2.2.5 Conséquences environnementales

La logique, le mode de représentation et l'utilisation du degré d'exposition pour les conséquences environnementales sont identiques à ceux développés pour les éléments de gestion de crise décrits précédemment (figure 2 de l'annexe C et tableau 2.2), car ces informations seront colligées dans un diagramme à barres similaire. De même, l'annexe D présente les éléments relatifs aux industries présentant des conséquences environnementales potentielles qui peuvent être identifiées à partir des codes d'évaluation foncière. Cependant ces codes d'évaluation foncière ne permettent de connaître ni la nature exacte des risques environnementaux, ni leur réelle existence, car il n'y a aucune information sur la nature exacte de l'industrie ni sur les produits qu'elle utilise. Les règles qui suivent, établies par consensus avec nos partenaires,

devront impérativement être raffinées en fonction des conditions exactes de ces industries dans chaque municipalité.

- Si aucun élément n'est touché, le degré d'exposition est mineur.
- Si un seul élément est touché, le degré d'exposition est sérieux.
- Si au moins trois éléments sont touchés, le degré d'exposition est sévère.
- Si plus de trois éléments sont touchés, le degré d'exposition est très sévère.

Une validation précise de ces informations sur les sites à l'étude est donc primordiale. Les informations issues des rôles d'évaluation foncière doivent donc être considérées comme des indicateurs d'exposition.

2.2.6 Évaluation globale

Le degré d'exposition d'une municipalité face au risque d'inondation est un indicateur qui permet d'obtenir rapidement une image de la gravité de la situation qui en résulte. Cinq degrés intermédiaires sont définis : (1) la population touchée, (2) les éléments de gestion de crise, (3) les réseaux de support à la vie, (4) les infrastructures de transport et (5) les conséquences environnementales. Un degré d'exposition global qui synthétise les précédents peut alors être établi selon le principe suivant :

- le degré d'exposition global est égal au degré le plus élevé présent pour une cote du niveau d'eau donnée.

Par exemple, si le degré d'exposition pour la population est mineur et sévère pour les éléments de gestion de la crise, le degré d'exposition global est sévère.

Un tableau identique au tableau 2.2 est alors créé, en indiquant la provenance du degré d'exposition.

2.2.7 Détermination et utilisation du degré d'exposition

Pour établir ces degrés d'exposition tels que définis précédemment, il faut balayer l'ensemble du fichier de type DOMINO dans la zone d'inondation maximale plausible, comme pour l'outil CONSEQ qui a été développé dans la première partie de cette étude. Pour tous les niveaux d'eau intermédiaires compris entre le début de l'inondation et le niveau maximal, les degrés d'exposition sont calculés pour la population touchée, les éléments de gestion de crise, les réseaux de support à la vie, les infrastructures de transport et les conséquences environnementales. Ensuite le degré d'exposition global est calculé. Ces résultats sous forme de graphique et de tableaux sont présentés à l'usager afin qu'il évalue rapidement les situations auxquelles il devra éventuellement faire face. Des cotes du niveau d'eau critiques seront alors clairement exposées. En effet, les limites établies pour chaque catégorie et pour chaque degré d'exposition (mineur, sérieux, sévère et très sévère) correspondent à des niveaux critiques qui devront être considérés dans les plans d'urgence.

Ces informations permettent de planifier adéquatement les activités à venir afin d'élaborer le plan d'urgence inondation qui en découle. Ces activités concernent la validation des informations puis

les ressources à mettre en œuvre pour évaluer et déterminer les mesures correctrices, d'atténuation et de protection à mettre en place. Elles doivent être effectuées en collaboration avec de multiples intervenants issus de divers domaines administratifs, techniques ou de sécurité. Les étapes suivantes, présentées aux sections 2.3 et 2.4, vont permettre de raffiner l'évaluation de ces ressources.

Des courbes de conséquences élargies peuvent également être établies en fonction des degrés d'exposition sur les éléments sensibles essentiels pour la municipalité. L'obtention de ces courbes est montrée dans la section 2.3 suivante.

2.3 Génération élargie de courbes de conséquence

Le contenu et le degré de sophistication d'un plan d'urgence dépend largement du niveau de préparation et de sensibilisation d'une municipalité. Les informations qui doivent être fournies à une municipalité doivent donc tenir compte de ce niveau de préparation. Le flot d'information doit en être contrôlé. La seule approche possible en est donc une d'aide à l'usager.

Le système informatique étudie la zone définie par la limite maximale plausible d'inondation, évalue les informations disponibles, présente le portrait global de la situation à l'usager qui décide ce qu'il désire obtenir pour réaliser son plan d'urgence en fonction de son état de préparation, mais aussi des ressources disponibles pour le réaliser.

Des courbes de conséquences peuvent être créées et fournies à l'usager en fonction des codes d'évaluation foncière des éléments contenus dans la zone inondable. Dans les fichiers de type DOMINO, ces informations sont disponibles avec la cote du terrain naturel où elles sont situées. Les courbes peuvent donc être établies comme expliqué dans la section 2.2 de ce rapport. L'ensemble des éléments qui peuvent servir à construire ces courbes sont exposés à l'annexe D. Dans cette annexe, ces éléments sont regroupés en catégories uniformes qui peuvent représenter un intérêt spécifique dans un plan d'urgence inondation. Ces catégories sont définies par les éléments qu'elles contiennent.

- Éléments relatifs à des habitations diverses
- Éléments de gestion de la crise
- Éléments relatifs aux institutions de santé
- Éléments relatifs aux institutions d'enseignement
- Éléments relatifs à l'armée
- Éléments de communication
- Éléments de transport
- Éléments relatifs aux réseaux de support à la vie
- Éléments relatifs aux industries aux conséquences environnementales potentielles
- Éléments relatifs à des industries et commerces
- Éléments divers

Un système d'aide à la décision de cette nature, doit donc identifier tous les éléments de l'annexe D présents dans la zone potentiellement inondable, puis les catégories définies ci-dessus. Les

catégories identifiées sont présentées à l'usager. Il choisit celles qu'il veut intégrer dans son plan d'urgence. Ensuite, pour chaque catégorie choisie, le système expose à l'usager la liste des éléments présents. Ce dernier sélectionne les éléments dont il veut obtenir une courbe de conséquence établie pour les niveaux d'eau compris entre la berge et le niveau maximal d'inondation plausible.

La fourniture d'une trop grande quantité de courbes n'est pas un avantage si les ressources pour les valider et les adapter spécifiquement à la municipalité ne sont pas disponibles. Il y a, alors, un réel risque de découragement devant la somme d'information à étudier ce qui peut entraîner l'effet contraire, c'est-à-dire une utilisation inadéquate de ces courbes ou un rejet pur et simple.

De même, certaines catégories sont plus pertinentes que d'autres. Il faut donc adopter une approche prudente et structurée. Ainsi, les éléments de gestion de crise et les institutions de santé sont primordiaux pour la sécurité de la population et demandent une attention particulière lors de l'évacuation en raison de la difficulté de relocalisation. Les institutions d'enseignement doivent être considérées avec attention lors de l'évacuation en raison des familles qui risquent d'être séparées mais aussi car ces bâtiments servent souvent de centre d'hébergement pour les personnes évacuées. Les éléments relatifs à l'armée peuvent également servir de centre d'hébergement. Les éléments de communication, de transport et les réseaux de support à la vie devraient être considérés avec grand soin en raison des conséquences d'une inondation de ces derniers sur l'ensemble de la population, tant dans la zone inondable qu'en dehors. Enfin, les industries présentant des risques environnementaux doivent être sensibilisées en raison des risques d'effets domino que représente une inondation de ces dernières. Dans ce cas, il est du ressort de la municipalité de s'assurer que ces dernières soient bien sensibilisées au risque d'inondation et qu'elles possèdent des plans d'urgence efficaces et adaptés.

Par défaut, le logiciel pourrait générer des résultats uniquement pour les éléments de gestion de crise, les éléments relatifs aux institutions de santé et d'enseignement qui représentent les conséquences les plus sévères et délicates pour une municipalité. Les autres éléments pouvant être du ressort d'autres organismes publics ou privés.

2.4 Aide à l'élaboration du plan d'urgence

Les courbes de conséquences telles qu'élaborées à partir des fichiers de type DOMINO, représentent des informations de base qui permettent d'identifier les populations, les habitations et divers éléments touchés par diverses remontées des niveaux d'eau. Toutefois, ces informations doivent être analysées plus en détail afin d'être adéquatement et efficacement intégrées dans un plan d'urgence. À cette étape, il est possible de définir, à l'aide d'informations spécifiques recueillies sur le terrain, des courbes de défaillance pour certains éléments précis. Pour ce faire, un système d'aide à la décision doit, dans un premier temps, guider l'usager dans sa recherche d'informations techniques, à l'aide de fiches inondation, puis, dans un deuxième temps, élaborer des courbes de défaillance. Ces deux étapes sont décrites ci-après.

2.4.1 Fiches inondation

Une inondation est, par définition, un événement naturel connu que l'on sait appréhender mais dont l'ampleur des conséquences sur un territoire est inconnue. De ce fait, avant de procéder à une élaboration fonctionnelle et technique de tout plan d'urgence, il peut sembler nécessaire de réfléchir dans un premier temps sur les différentes façons d'estimer et de limiter les effets d'un tel aléa. En d'autres termes, il pourrait paraître judicieux de se poser, avant l'élaboration de tout plan d'urgence, les bonnes questions afin de faire face aux dommages pouvant être causés par une inondation.

Pour l'élaboration du plan d'urgence, certains renseignements complémentaires aux rôles d'évaluation et aux courbes de conséquences sont nécessaires. En effet, certaines informations sur les éléments sensibles ne sont pas données par les rôles d'évaluation fournis à DOMINO et ne peuvent pas être déduits de la simulation d'inondation. Il s'agit par exemple du niveau d'eau critique à partir duquel le poste de police perd la fonctionnalité de ses appareils électriques. Ce type de renseignement doit être relevé sur le terrain, pour chaque élément, par le responsable des mesures d'urgence de la municipalité. Pour ce faire, il ne doit pas hésiter à demander conseils aux personnes plus avisées car la somme, la diversité et la nature technique de ces informations sont considérables. La qualité de l'information recueillie a une répercussion directe sur la qualité et l'efficacité du plan d'urgence final. Un système d'aide à la décision peut apporter une aide efficace au responsable des mesures d'urgence et le guider dans sa démarche ardue de collecte et de traitement de l'information. Les fiches inondation ont été conçues dans cette optique.

Les fiches inondation représentent un guide des points techniques à analyser advenant l'inondation de certains éléments essentiels. Actuellement, seuls les points principaux ont été identifiés et répertoriés dans des fiches inondation de sept éléments sensibles jugés représentatifs. Ces éléments, dont les fiches inondation sont présentées à l'annexe E, sont :

- Hôtel de ville
- Caserne de pompiers
- Poste de police
- École et garderie
- Hôpital et autres institutions de santé
- Entreprise à risque environnemental
- Usine de filtration (eau potable)

Les points traités dans ces fiches pourront être raffinés dans le temps et selon les besoins spécifiques des municipalités en regard de leur utilisation et des ressources disponibles. Les fiches présentées à l'annexe E traitent, globalement, des points qui suivent.

1. Validation : il est important de vérifier si les informations sur la position géographique de l'élément, contenues dans le rôle d'évaluation foncière, sont exactes et à jour. Donc l'emplacement exact de l'élément doit être validé et il faut vérifier que la cote du terrain naturel est bien touchée par une remontée des eaux.

2. Niveaux de fonctionnalité : un élément administratif et de gestion de crise (comme un Hôtel de ville) ou technique (comme un poste de police ou d'une caserne de pompiers)

doit remplir certaines tâches bien précises. Lors d'une inondation la remontée des eaux peut empêcher les personnes présentes de remplir ces tâches. Toutefois, malgré la présence d'eau certaines tâches peuvent toujours être remplies en cas d'urgence. Par exemple, pour une caserne de pompiers une faible quantité d'eau sur les planchers peut quand même permettre le mouvement des camions. Au delà d'un certain niveau, les camions ne peuvent plus fonctionner. De même à un certain niveau d'eau, la présence de produits toxiques peut nécessiter une évacuation immédiate. Il y a donc des niveaux de fonctionnalité qui varient avec chaque élément spécifique. Les fiches inondation répertorient ces niveaux de fonctionnalité et le responsable des mesures d'urgence devrait les identifier à l'aide des responsables techniques et administratifs de ces éléments. Pour chacun de ces niveaux de fonctionnalité, il faut établir à partir de quelle cote l'eau les rend inopérants.

3. Mécanismes d'évacuation : les points importants spécifiques à chaque élément concernant les évacuations sont identifiés. Ils doivent amener le responsable des mesures d'urgence à les évaluer et à les solutionner en collaboration avec les responsables administratifs et techniques de ces éléments.

4. Mécanismes d'alerte : ce point important est identifié afin qu'il soit adéquatement et efficacement mis au point en collaboration avec les responsables administratifs et techniques de ces éléments. Ces mécanismes devraient également comporter des séries d'exercices pertinents et adaptés.

5. Gestion du retour à la normale : en collaboration avec les responsables administratifs et techniques des éléments, la problématique des activités reliées au retour à la normale doit être identifiée et résolue. En effet, il faut établir précisément les activités de nettoyage et les mécanismes de reprise graduelle des activités.

6. Autres points spécifiques : pour certains éléments, des points particuliers doivent être abordés, toujours en collaboration avec les responsables administratifs et techniques de ces éléments. Ainsi, pour une usine de filtration des eaux potables, les mesures palliatives au manque d'eau doivent être établies, de même que la gestion des risques d'incendie qui résultent de ce manque d'eau. Pour des entreprises privées, le responsable des mesures d'urgence de la municipalité doit s'assurer que le risque inondation est bien communiqué et que les plans d'urgence internes sont bien définis et efficaces.

Un tel système d'aide à la décision fonctionnerait sur le principe suivant. Dès qu'un élément est identifié dans la zone d'inondation maximale plausible et si l'usager a demandé une courbe de conséquences le concernant, la fiche inondation est automatiquement produite. Le responsable des mesures d'urgence attache les résultats de ses démarches à la courbe de conséquences pour intégrer le tout dans son plan d'urgence inondation.

2.4.2 Courbes de défaillance

Pour élaborer un plan d'urgence, certaines aides à la décision sont déjà disponibles. Les courbes de conséquences renseignent notamment sur le niveau d'eau atteint aux différents éléments sensibles. À ces courbes viennent s'ajouter les renseignements fournis sur les fiches inondation. Il est alors possible de greffer un nouveau concept élaboré pour les éléments techniques de transport hydroélectriques : les courbes de défaillance. L'intégration de ce concept dans les plans d'urgence municipaux est innovateur et il devra être mis en pratique afin d'évaluer sa réelle efficacité et les améliorations qu'il apporte dans la planification et la gestion des urgences inondation. Dans ce projet, nous présentons donc les principes généraux qui guident l'élaboration de ces courbes de défaillance.

Les courbes de défaillance sont axées sur les niveaux de fonctionnalité utilisés dans les fiches inondation. Il s'agit de reporter sur un graphique les cotes de fonctionnalité avec les cotes du niveau d'eau. De même les causes de la défaillance peuvent être représentées graphiquement en fonction de la cote du niveau d'eau. Il y a donc deux types de graphique, ou courbe, de défaillance. Les graphiques concernant les fonctions des éléments touchés par les inondations, sont les courbes fonctionnelles de défaillance. Les courbes concernant les causes de la défaillance sont appelées courbes de causalité de défaillance. Elles sont décrites séparément et leur utilisation potentielle sera discutée en dernier lieu.

Comme pour les fiches inondation, les données nécessaires à l'élaboration de ces courbes ne peuvent être extraites des fichiers de type DOMINO. Il faut donc que l'usager du système d'aide à la décision fournisse les informations nécessaires. Ces courbes étant intimement reliées aux fiches inondation, dès qu'une fiche est produite pour un élément, le module concernant les courbes de défaillance de cet élément est activé. Les données nécessaires à leur élaboration sont listées et transmises à l'usager. Lorsque ce dernier les a compilées, il peut réactiver le module et transmettre les données. Les courbes sont alors tracées et fournies à l'usager.

2.4.2.1 Courbes fonctionnelles de défaillance

Les fiches inondation permettent d'établir des niveaux de fonctionnalité spécifiques à chaque élément. Pour chacune de ces fonctionnalités, en fonction des cotes du niveau d'eau, il faut en évaluer les conséquences en terme de défaillance ou de destruction. Une échelle est nécessaire afin de moduler ces conséquences. Ainsi quatre niveaux sont définis et décrits ci-dessous.

- Niveau normal : élément non touché, l'impact de l'inondation est nul.
- Niveau défaillance : élément peu touché, le personnel n'est pas en danger mais les activités sont perturbées.
- Niveau non fonctionnel : élément rendu inactif par l'inondation, le personnel n'est plus en sécurité.
- Niveau destruction : élément partiellement ou totalement détruit par l'inondation.

Par exemple, pour un Hôtel de ville, trois fonctions reliées à la gestion de crise peuvent être identifiées : (1) les télécommunications, (2) les services municipaux et (3) les services d'urgence. Pour chacun d'eux, les quatre niveaux précédents doivent être établis afin de tracer une courbe fonctionnelle de défaillance spécifique. La figure 1 de l'annexe F présente un exemple d'une telle courbe pour la fonction des télécommunications. Une telle courbe permet de visualiser

rapidement les conséquences de l'atteinte d'une certaine cote sur la fonctionnalité de l'élément à l'étude et d'établir clairement des cotes critiques. Certains niveaux peuvent ne pas être définis, comme par exemple une fonctionnalité qui n'a pas de niveaux de défaillance et de destruction, mais uniquement un niveau non fonctionnel.

Dans certains cas, ces niveaux peuvent ne jamais être atteints, mais cela permet, toutefois, de connaître les défaillances possibles d'une fonctionnalité. Une telle connaissance peut servir pour l'étude des conséquences relatives à des risques différents de l'inondation.

2.4.2.2 Courbes de causalité de défaillance

Comme pour les courbes fonctionnelles de défaillance, un élément comme un Hôtel de ville possède plusieurs fonctionnalités dont l'état doit être surveillé lors d'une inondation. Toutes les fonctionnalités peuvent être regroupées en un seul diagramme. Pour chacune d'elles, les quatre niveaux définis pour les courbes fonctionnelles de défaillance sont indiqués.

La figure 2 de l'annexe F présente un exemple de courbe de causalité de défaillance pour un Hôtel de ville.

Un tel graphique synthétise l'ensemble des informations concernant les fonctionnalités d'un élément spécifique. Encore une fois des niveaux critiques sont aisément identifiables et l'utilisation de ces connaissances dépassent largement le cadre strict du risque d'inondation.

2.4.2.3 Utilisation potentielle des courbes de défaillance

Ces courbes de défaillance permettent essentiellement de synthétiser et de regrouper les informations concernant la non fonctionnalité de certains éléments lors d'une situation de crise. Elles devraient être élaborées pour les éléments essentiels comme les éléments de gestion de crise et les éléments relatifs aux institutions de santé et d'enseignement.

Lors d'une situation de crise en cours, ces courbes permettent rapidement d'évaluer l'état de la situation à venir et de consulter le plan d'urgence en fonction de l'état prévu de ces éléments. En effet, une inondation est une situation évolutive dont les experts en hydraulique sont généralement capables de prévoir les niveaux à venir.

Pour la planification des mesures d'urgence, ces courbes identifient clairement les niveaux critiques afin d'adapter les mesures de prévention et d'atténuation. C'est un atout majeur pour la préparation d'un plan d'urgence efficace et opérationnel.

Les travaux d'évaluation des niveaux de défaillance dépassent le cadre du risque d'inondation, car ils sensibilisent l'ensemble des intervenants administratifs, techniques et en sécurité à la notion de défaillance. L'identification des fonctionnalités qui peuvent entrer en défaillance est très utile pour estimer les vulnérabilités dans la municipalité et planifier des mesures éventuelles d'atténuation.

3.0 Conclusion

Ces travaux ont permis l'atteinte de l'objectif initial, soit d'intégrer, dans une même démarche structurée, des expertises numériques, hydrauliques, cartographiques et de sécurité civile, toutes dédiées à l'établissement de plans d'urgence municipaux opérationnels face au risque d'inondation.

Dans le cadre des nouvelles législations québécoises sur les barrages et la sécurité civile, il devient important de créer des liens effectifs et concrets entre les gestionnaires des cours d'eau et les municipalités riveraines. L'outil CONSEQ constitue un premier pas dans ce sens. Les gains de temps qu'il permet pour l'élaboration d'un plan d'urgence représentent déjà un atout fort appréciable, surtout s'il est combiné à l'orientation opérationnelle des courbes de conséquences produites.

Le concept des études de conséquences est particulièrement innovateur car il permet à l'ensemble des intervenants de se concentrer sur les conséquences d'inondations potentielles mais plausibles. Son approche indépendante de scénarios précis permet de couvrir l'ensemble des situations potentielles et de s'y préparer le plus adéquatement possible. Il est important, maintenant, d'implanter ce concept dans les mentalités autant des gestionnaires des cours d'eau que des responsables municipaux en mesures d'urgence avant de développer un réel outil d'aide à la décision pour l'élaboration de plans d'urgence inondation. L'implication de nos partenaires dans ce projet de recherche et développement assure que ces travaux de sensibilisation seront effectués dans un proche avenir.

Les fiches inondation développées dans la seconde partie de ce projet représentent également un bon exemple de l'intégration de concepts techniques reliés à l'hydraulique des inondations, de considérations administratives et de gestion et de planification des mesures d'urgence. Elles devront être mises en application avec l'ensemble des intervenants afin d'en raffiner le contenu.

Les courbes de causalité et fonctionnelles de défaillance représentent des concepts plus théoriques dont la réelle application ne pourra être évaluée qu'avec le temps. Toutefois, elles intègrent un ensemble de concepts qui concernent concrètement l'utilisation des éléments sensibles lors d'une situation d'urgence reliée à une inondation qui demande une grande préparation et sensibilisation des responsables en mesures d'urgence. Leur utilisation dépendra donc de l'état de préparation des municipalités.

References

American Society of Civil Engineering (ASCE) 1988, "Task committee on spillway design flood selection, Evaluation procedures for hydrologic safety of dams."

Fread, D.L., Lewis J.M., 1998, "NWS FLDWAV MODEL: Theoretical description and User documentation"; Hydrologic Research Laboratory, Office of Hydrology, National Weather Service (NWS), Sylver Spring, Maryland USA, November 1998.

Gagnon, J., Quach, T.T., Marche, C., Lessard, G., 1998, "Computerized evaluation of flood impact", 10th CSDA/CANCOLD Dam Safety Conference, Halifax, Canada.

Marche, C., 1993, "Une version complétée de SERUM and son application à l'étude de sécurité des réservoirs multidigues LG3 and LG2"; Rapport final, Centre de développement Technologique, École Polytechnique de Montréal.

Québec, 1999, "Le manuel d'évaluation foncière", Ministère des Affaires municipales and de la métropole, Les publications du Québec.

SOBEK 1998, "DOMINO, guide de l'usager, version 1,5", rédigé pour Hydro-Québec, Barrages et ouvrages civils, Expertise et support technique.

Annexe A – Exemple d'un fichier de résultats DOMINO

Rapport d'analyse des impacts causés par les inondations **Calculs du :** 2001/03/13 - 13:46 **Fichier : fichier test**

Région: Une région
Site: Un site
Rivière: Un lac

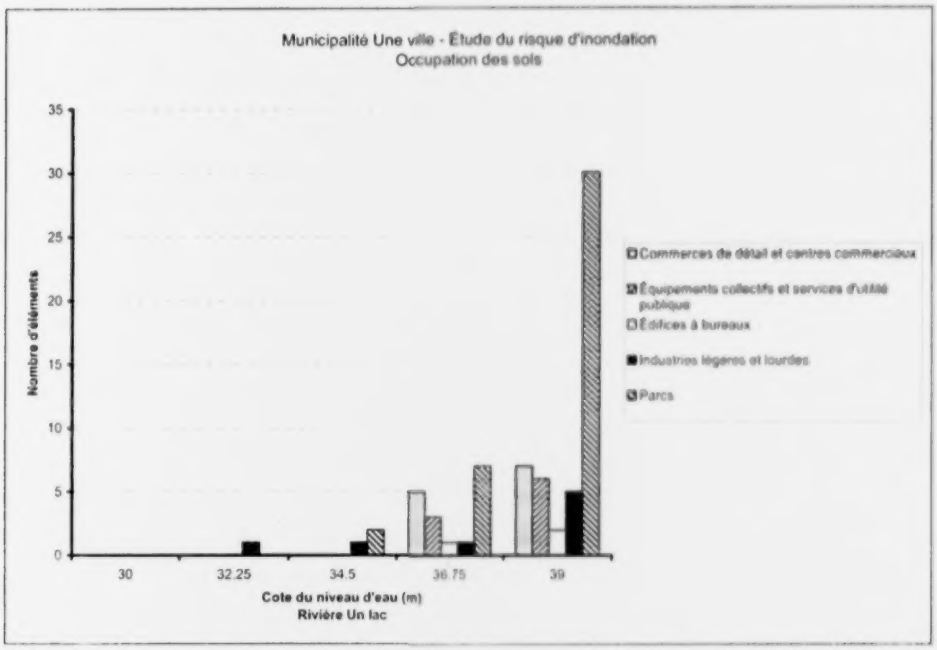
Temps d'analyse: 10.00 **Régime:** Non permanent - 1D
Variante d'analyse: 1
Temps de référence: 1.00 **Régime:** Non permanent - 1D
Variante de référence: 0

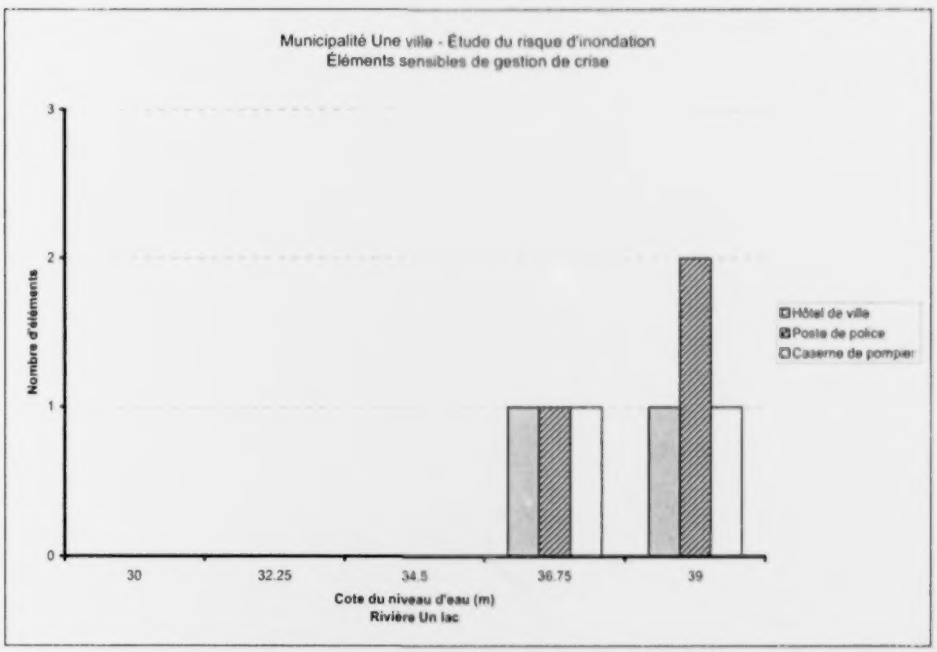
Identification des ensembles de critères de pondération :
Impact sur les occupants: Population
Impact aux bâtiments : Batiments
Impact au contenu des bâtiments: Contents

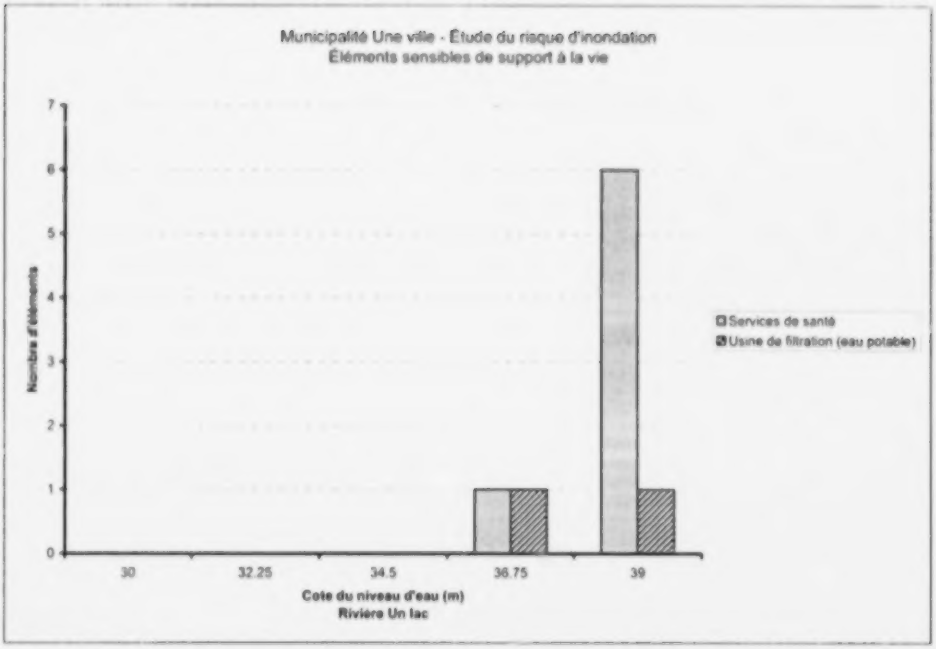
Total des dommages :
288 personnes
$ 19226405 sur 385 bâtiments
$ 12470300

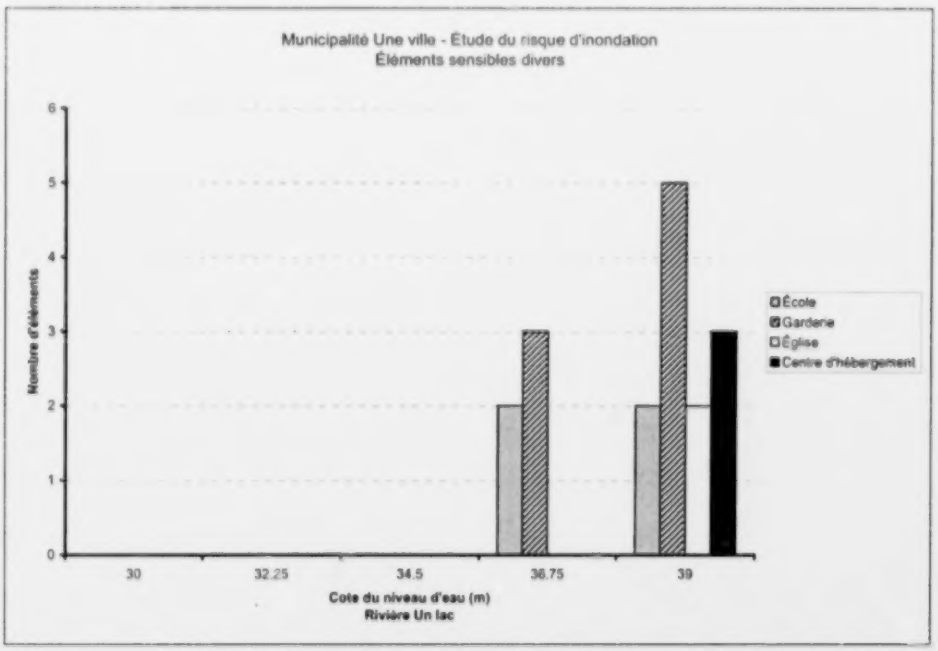
Municipalité	Code Municipalité	Matricule	Code bâtiment	Addresse civile	Code Utilisation	Nbr. étages	Easting	Northing	Élévation terrain	Nbr. occupants	Valeur bâtiment	Valeur terain	Chaînage bâtiment	Rive inondée	Profond écoulement	Vitesse écoulement	F. ponder. occupants	F. ponder bâtiment	F. ponder contenu	Nbr. occ. potentiellement affectés	Dommages bâtiment	Dommages contenu
Une ville	99999	9999-99-9999	0	99 Une rue	1000	1	274557	5016725	36.51 (c)	0	53400	57900	2175.17	Right	1.487	0.000	1	0.200	0.100	2.20 (dm)	10680	5340
Une ville	99999	9999-99-9999	0	99 Une rue	1000	1	274627	5016570	37.22 (c)	0	87500	10800	2337.55	Right	0.780	0.000	0	0.000	0.100	0	0	8750
Une ville	99999	9999-99-9999	0	99 Une rue	1000	1	274642	5016630	37.82 (c)	0	70100	15100	2268.60	Right	0.178	0.000	0	0.000	0.100	0	0	7010
Une ville	99999	9999-99-9999	0	99 Une rue	9100	0	274702	5016855	37.98 (c)	0	0	20900	2009.31	Right	0.017	0.000	0	0.000	0.100	0	0	0
Une ville	99999	9999-99-9999	0	99 Une rue	1000	2	274770	5016843	37.95 (c)	0	59100	15000	2012.55	Right	0.045	0.000	0	0.000	0.100	0	0	5910
Une ville	99999	9999-99-9999	0	99 Une rue	1000	1	274791	5016887	38.00 (c)	0	72400	10400	1960.32	Right	0.001	0.000	0	0.000	0.100	0	0	7240
Une ville	99999	9999-99-9999	0	99 Une rue	1000	1	274697	5017055	37.95 (c)	0	95800	19500	1787.51	Right	0.051	0.000	0	0.000	0.100	0	0	9580
Une ville	99999	9999-99-9999	0	99 Une rue	1000	1	274658	5017191	37.22 (c)	0	69600	19800	1642.46	Right	0.780	0.000	0	0.000	0.100	0	0	6960

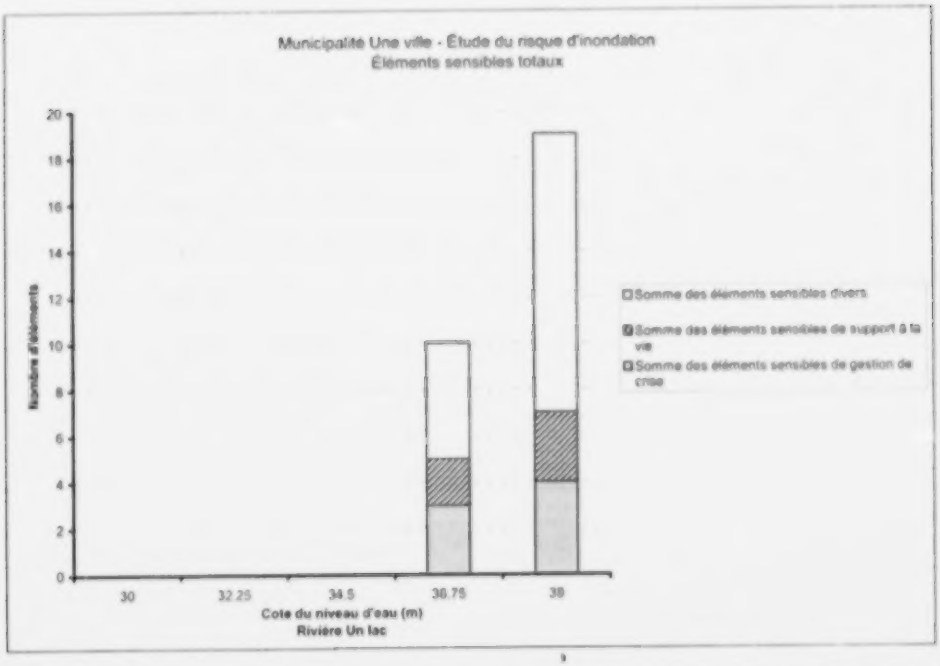
Annexe B – Exemples de courbes de conséquences provenant de CONSEQ

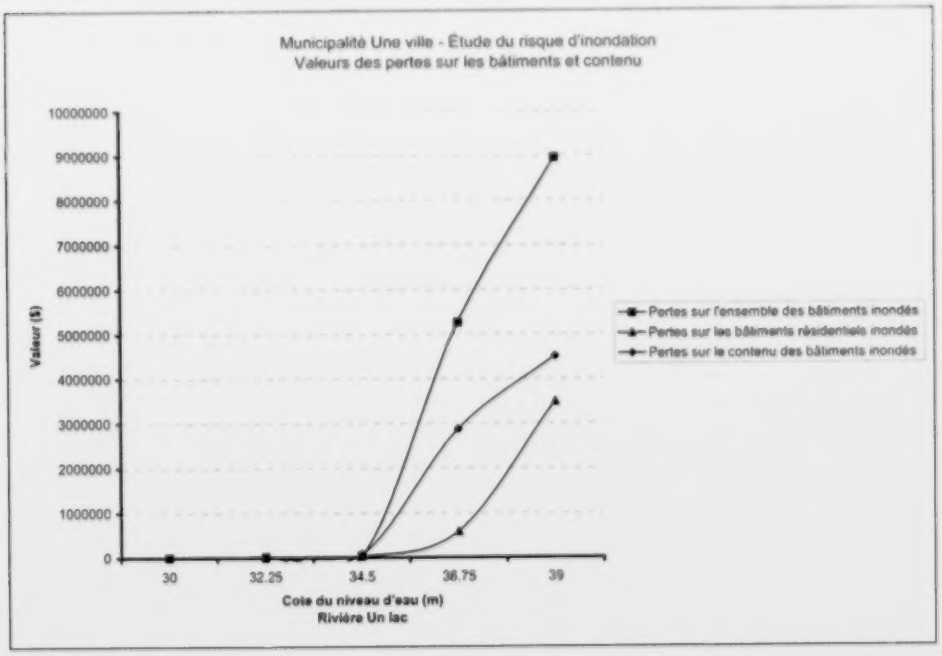


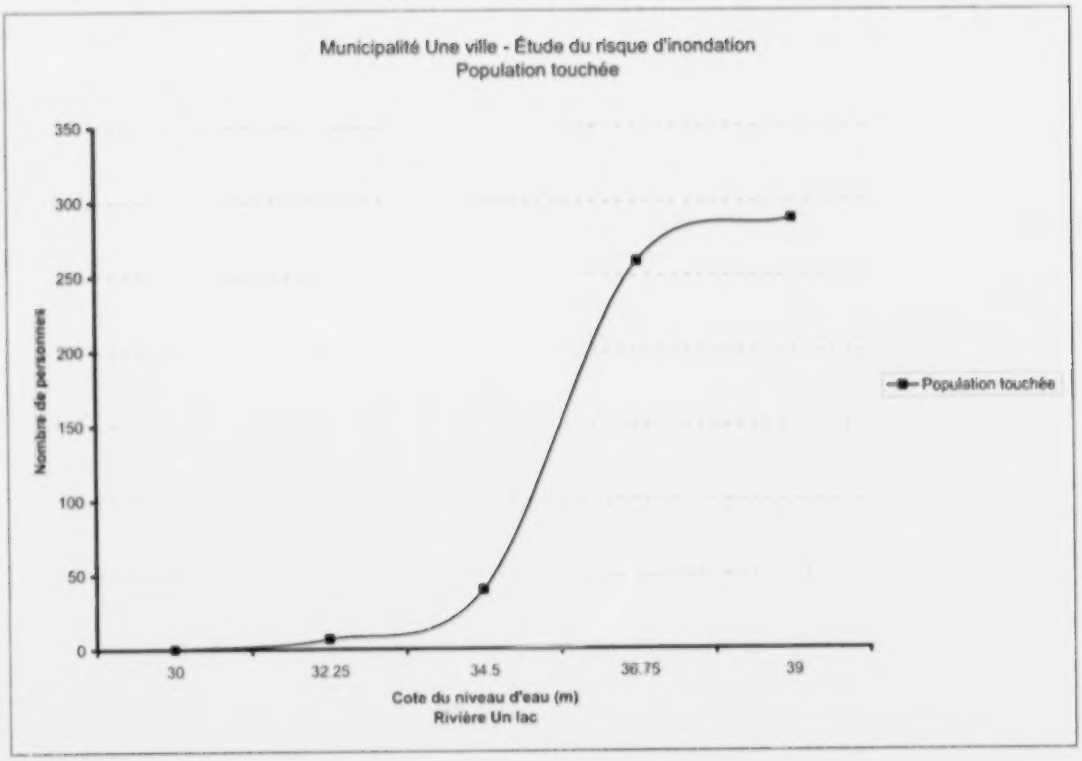



Municipalité Une ville - Étude du risque d'inondation
Éléments sensibles de support à la vie
Nombre d'éléments
0
1
2
3
4
5
6
7
30
32.25
34.5
36.75
39
Cote du niveau d'eau (m)
Rivière Un lac
Services de santé
Usine de filtration (eau potable)


Municipalité Une ville - Étude du risque d'inondation
Éléments sensibles divers
Nombre d'éléments
0
1
2
3
4
5
6
30
32.25
34.5
36.75
39
Cote du niveau d'eau (m)
Rivière Un lac
École
Garderie
Église
Centre d'hébergement


Municipalité Une ville - Étude du risque d'inondation
Éléments sensibles totaux
Nombre d'éléments
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
30
32.25
34.5
36.75
39
Cote du niveau d'eau (m)
Rivière Un lac
Somme des éléments sensibles divers
Somme des éléments sensibles de support à la vie
Somme des éléments sensibles de gestion de crise


Municipalité Une ville - Étude du risque d'inondation
Valeurs des pertes sur les bâtiments et contenu
Valeur ($)
10000000
9000000
8000000
7000000
6000000
5000000
4000000
3000000
2000000
1000000
0
30
32.25
34.5
36.75
39
Cote du niveau d'eau (m)
Rivière Un lac
Pertes sur l'ensemble des bâtiments inondés
Pertes sur les bâtiments résidentiels inondés
Pertes sur le contenu des bâtiments inondés


Municipalité Une ville - Étude du risque d'inondation
Population touchée
Nombre de personnes
350
300
250
200
150
100
50
0
30
32.25
34.5
36.75
39
Cote du niveau d'eau (m)
Rivière Un lac
Population touchée

Annexe C – Exemples de courbes de conséquences avec des degrés d'exposition

Figure 1 : Exemple de représentation du degré d'exposition d'une population face à une inondation

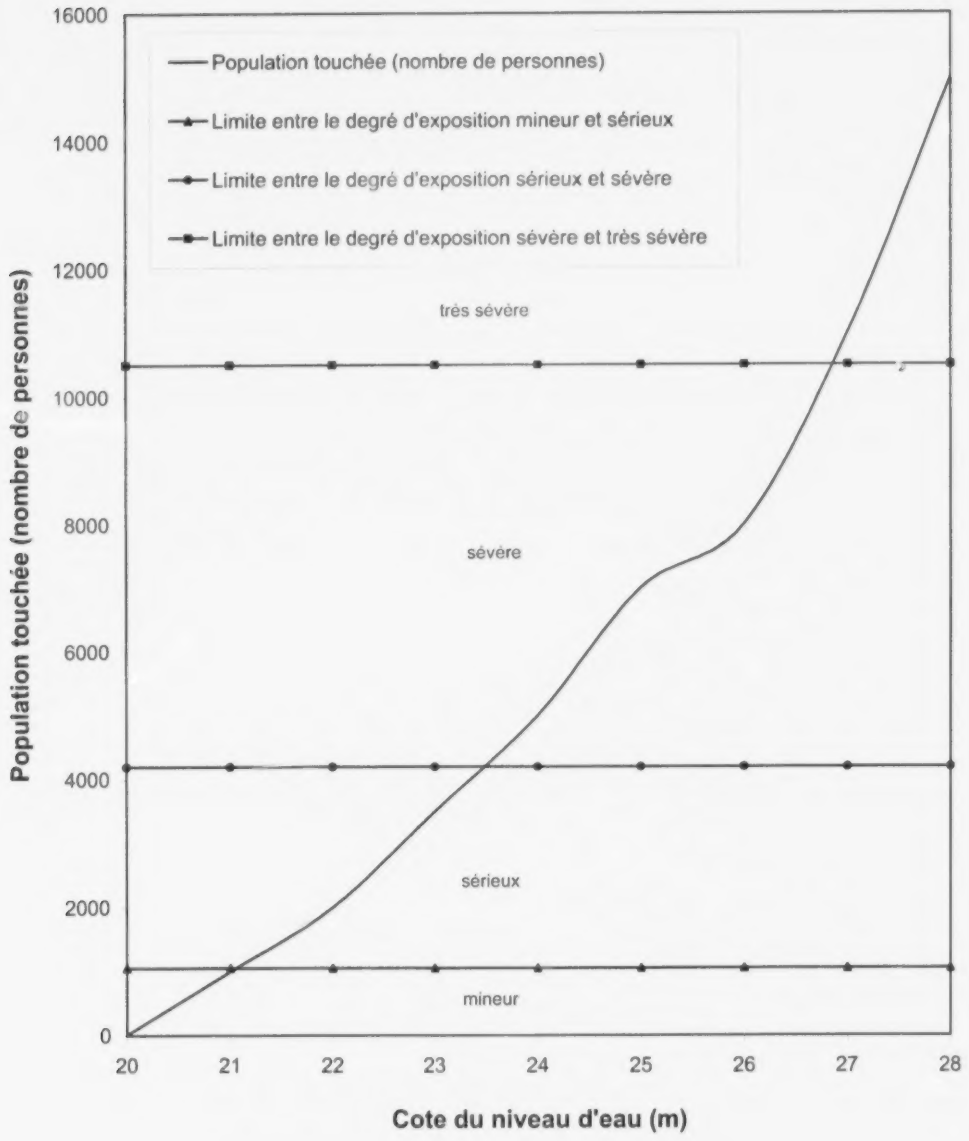
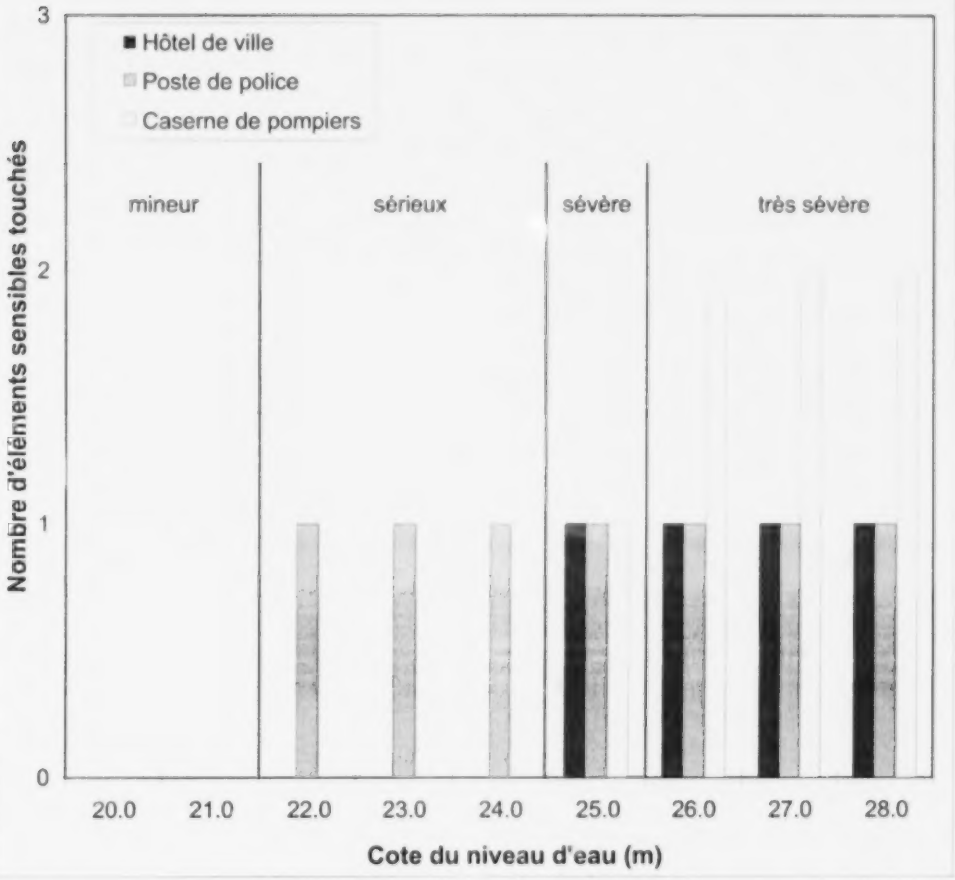


Figure 2 : Exemple de représentation du degré d'exposition des éléments sensibles de gestion de crise



Annexe D – Description des codes d'évaluation foncière (Québec, 1999)

Éléments	Code
Éléments relatifs à des habitations diverses	
Édifices à bureaux	6000
Bâtiments résidentiels	1000
Église, synagogue, temple et autres activités religieuses	6911
Éléments de gestion de la crise	
Caserne de pompiers	6722
Hôtel de ville	6710
Poste de police	6721
Éléments relatifs aux institutions de santé	
Hôpital	6513
Centre Local de Services Communautaire (CLSC)	6532
Maison pour personnes en difficulté	6542
Centre d'accueil	6531
Autres centres et services sociaux	6539
Éléments relatifs aux institutions d'enseignement	
École maternelle, enseignement primaire et secondaire	6811-6814
Université, École polyvalente, CEGEP	6821-6823
Pouponnière, garderie de nuit	6543
Garderie	6541
Éléments relatifs à l'armée	
Défense civile	6723, 6751-6759
Éléments de communication	
Communication, centres et réseaux téléphoniques	4711-4719
Communication, centres et réseaux télégraphiques	4721-4729
Communication, diffusion radiophonique	4731-4739
Communication, centres et réseaux télévision	4741-4749
Centres et réseaux radiodiffusion et télévision	4751-4759
Autres centres et réseaux de communication	4790

Éléments	Code
Éléments de transport	
Chemins de fer et métro	4111-4119
Transport par véhicule moteur (infrastructure)	4211-4219, 4221-4229, 4291-4299
Transport par avion (infrastructure)	4311-4319, 4391-4399
Transport maritime (infrastructure)	4411-4419, 4490
Voie publique	4510-4990
Éléments relatifs aux réseaux de support à la vie	
Usine de filtration	4832
Infrastructure électrique	4811-4819
Usine de traitement des eaux usées	4841
Gaz (infrastructure)	4861-4869
Infrastructure de pétrole	4821-4829
Éléments relatifs aux industries aux conséquences environnementales potentielles	
Industrie de produits en caoutchouc et en plastique	2213-2299
Industrie du papier et de produits en papier	2911-2999
Récupération et triage de matière polluante et toxique	4875
Industrie de produits du pétrole et du charbon	3711-3712, 3790
Industrie Chimique	3821-3899
Vente en gros de médicaments de produits chimiques et de produits connexes	5121
Vente en gros de produits chimiques pour l'agriculture	5157

Éléments	Code
Éléments relatifs à des industries et commerces	
Industrie d'aliments et de boissons	2011-2019, 5141-5149, 5411-5499, 5001-5020
Imprimerie, édition et industries connexes	3011-3050
Industrie de transformation de métaux	3111-3190
Industrie de produits métalliques	3210-3299
Industrie de la machinerie	3310-3399
Industrie de produits en amiante	3692
Industrie de l'abattage et du conditionnement de la viande	2011-2019
Vente au détail de peinture	5230
Station service	5531-5533
Dépotoir et installations inhérentes aux ordures	4851-4859
Industrie de cuir et de produits connexes	2310-2390
Industrie textile	2410-2499
Industrie de l'habillement	2612-2699
V ·te en gros de vêtements et de tissus	5131-5134
Autres commerces de vente en gros	5161-5169, 5171-5173, 5181-5189
Vente en gros d'animaux	5155-5156
Autres commerces de vente au détail	5212-5270, 5310-5399, 5511-5599 5610-5699, 5711-5740
Industrie de produits électriques et électroniques divers	3510-3599
Éléments divers	
Installations sportives	7221-7229
Parc de récréation	7610
Parc à caractère récréatif et ornemental	7620
Parc d'amusement (extérieur)	7312
Terrain de golf	7411-7412
Espace de terrain non aménagé et non exploité	9100
Forêt non exploitée	9220
Réserves naturelles	9211-9219
Autres espaces de terrain et étendue d'eau inexploitée	9900

Annexe E – Fiches Inondation

Fiche Inondation
Hôtel de ville
- Validation (Hôtel de ville réellement situé en zone inondable) - Niveaux de fonctionnalité de la gestion de crise de l'hôtel de ville en fonction de l'accroissement du niveau d'eau : ✓ fonctionnalité des télécommunications ✓ fonctionnalité des services municipaux ✓ fonctionnalité des services d'urgence ✓ autres - Niveaux de fonctionnalités du volet administratif de l'hôtel de ville en fonction de l'accroissement du niveau d'eau : ✓ fonctionnalité des documents municipaux ✓ fonctionnalité des équipements ✓ autres - Mécanismes d'évacuation : ✓ modalité de l'évacuation ✓ délais d'évacuation - Mécanismes d'alerte - Gestion du retour à la normale : ✓ mesures de nettoyage ✓ durée du nettoyage ✓ modalités de reprise des activités

Fiche Inondation

Caserne de pompiers

- Validation (caserne de pompiers réellement située en zone inondable)
- Niveaux de fonctionnalité de la caserne de pompiers en fonction de l'accroissement du niveau d'eau :
  - ✓ fonctionnalité totale
  - ✓ fonctionnalité des télécommunications
  - ✓ fonctionnalité selon la dangerosité des produits
  - ✓ fonctionnalité des véhicules
  - ✓ fonctionnalité du personnel
  - ✓ autres
- Mécanismes d'évacuation :
  - ✓ modalité de l'évacuation
  - ✓ délais d'évacuation
- Mécanismes d'alerte
- Gestion du retour à la normale :
  - ✓ mesures de nettoyage
  - ✓ durée du nettoyage
  - ✓ modalités de reprise des activités

Fiche Inondation

Poste de police

- Validation (poste de police réellement situé en zone inondable)
- Niveaux de fonctionnalité du poste de police en fonction de l'accroissement du niveau d'eau :
  - ✓ fonctionnalité totale
  - ✓ fonctionnalité des télécommunications
  - ✓ fonctionnalité des véhicules
  - ✓ fonctionnalité selon la dangerosité des produits
  - ✓ fonctionnalité du personnel
  - ✓ fonctionnalité de la gestion des prisonniers
  - ✓ autres
- Mécanismes d'évacuation :
  - ✓ modalité de l'évacuation
  - ✓ délais d'évacuation
- Mécanismes d'alerte
- Gestion du retour à la normale :
  - ✓ mesures de nettoyage
  - ✓ durée du nettoyage
  - ✓ modalités de reprise des activités

Fiche Inondation

École et garderie

- Validation (école et garderie réellement situées en zone inondable)
- Mécanismes d'évacuation :
  - ✓ modalité de l'évacuation
  - ✓ délais d'évacuation
  - ✓ gestion des enfants
  - ✓ informations auprès des parents
- Mécanismes d'alerte
- Gestion du retour à la normale :
  - ✓ mesures de nettoyage
  - ✓ durée du nettoyage
  - ✓ modalités de reprise des activités

Fiche Inondation

Hôpital et autres institutions de santé

- Validation (hôpital et autre institution réellement situés en zone inondable)
- Niveaux de fonctionnalité de l'hôpital et des autres institutions en fonction de l'accroissement du niveau d'eau :
  - ✓ fonctionnalité totale
  - ✓ fonctionnalité des télécommunications
  - ✓ fonctionnalité des malades
  - ✓ fonctionnalité selon la dangerosité des produits
  - ✓ fonctionnalité du personnel
  - ✓ fonctionnalité des équipements
  - ✓ autres
- Mécanismes d'évacuation :
  - ✓ modalité de l'évacuation
  - ✓ délais d'évacuation
  - ✓ gestion des malades
  - ✓ relocalisation des malades
  - ✓ informations auprès des familles
- Mécanismes d'alerte
- Gestion du retour à la normale :
  - ✓ mesures de nettoyage
  - ✓ durée du nettoyage
  - ✓ modalités de reprise des activités

Fiche Inondation

Entreprise à risque environnemental

- Validation (entreprise réellement située en zone inondable)
- Évaluation du risque réel environnemental
- Communication du risque à l'entreprise
- Validation de la présence d'un plan d'urgence à l'interne
- Coordination du plan d'urgence interne avec les mesures d'urgences municipales

Fiche Inondation

Usine de filtration (eau potable)

- Validation (usine réellement situé en zone inondable)
- Niveaux de fonctionnalité de l'usine en fonction de l'accroissement du niveau d'eau :
  - ✓ fonctionnalité totale
  - ✓ fonctionnalité des télécommunications
  - ✓ fonctionnalité des équipements
  - ✓ fonctionnalité selon la dangerosité des produits
  - ✓ fonctionnalité du réseau
  - ✓ fonctionnalité du personnel
  - ✓ autres
- Mécanismes d'évacuation :
  - ✓ modalité de l'évacuation
  - ✓ délais d'évacuation
- Mécanismes d'alerte
- Mesures palliatives au manque d'eau potable :
  - ✓ nombre de personnes touchées par le manque d'eau
  - ✓ quantité (volume) d'eau journalier
  - ✓ modalité de distribution
  - ✓ mesures d'obtention de l'eau
- Gestion des risques d'incendie
- Gestion du retour à la normale :
  - ✓ mesures de nettoyage
  - ✓ durée du nettoyage
  - ✓ modalités de reprise des activités

Annexe F – Exemples de courbes de défaillance

Figure 1 : Exemple de courbe fonctionnelle de défaillance pour les télécommunications d'un Hôtel de ville

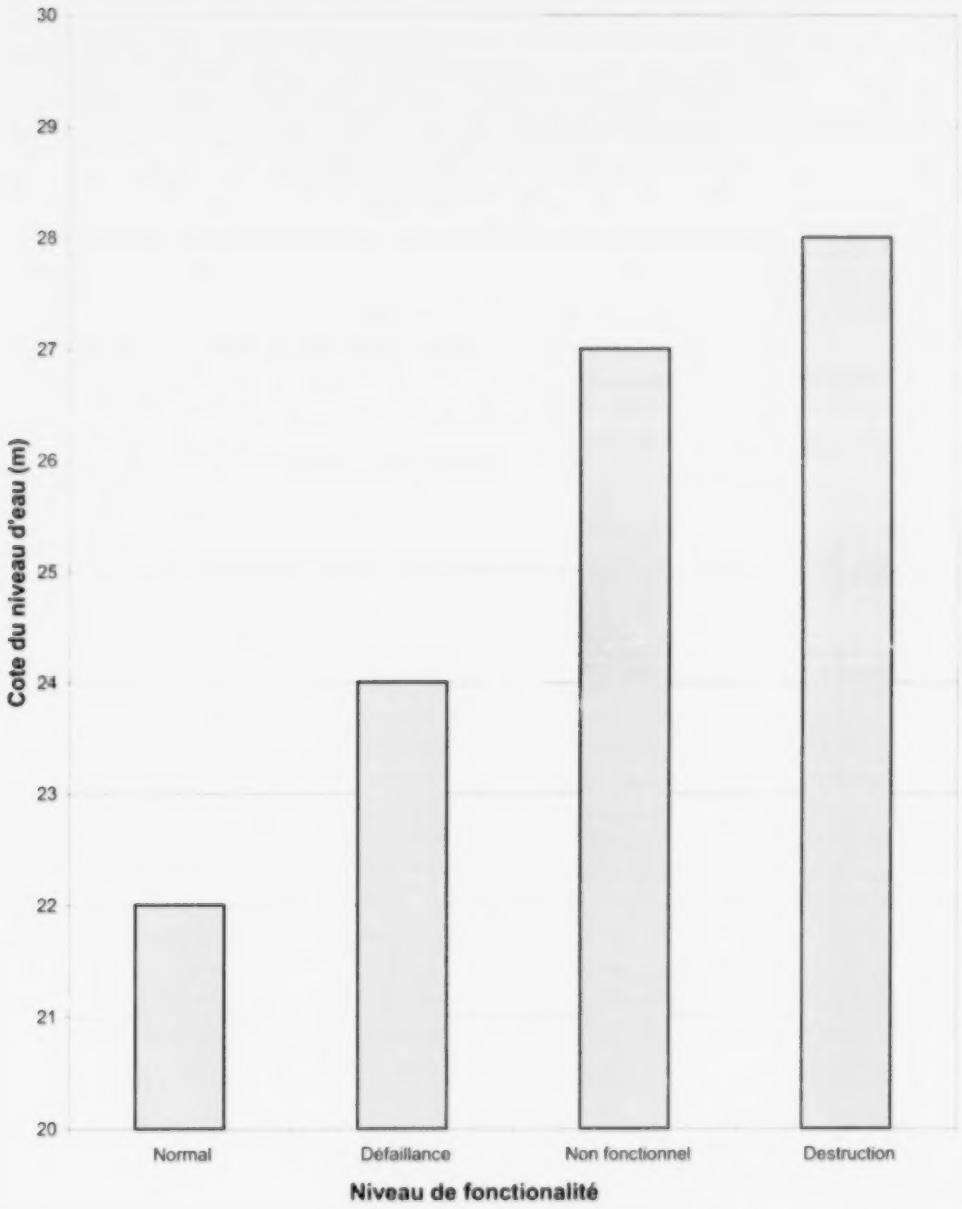
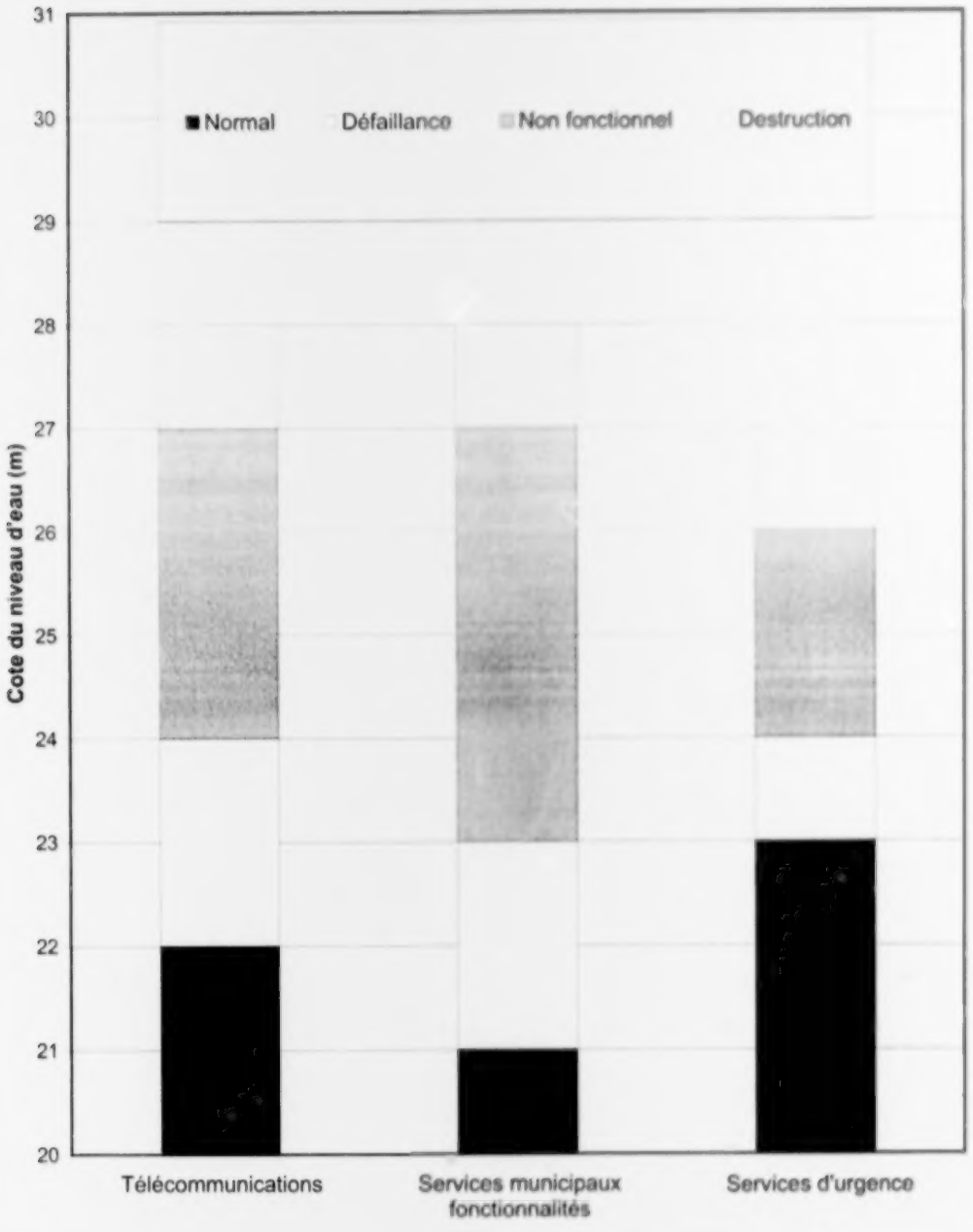



Figure 2 : Exemple d'une courbe de causalité de défaillance pour un Hôtel de ville